

Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek



Fysisch en Elektronisch
Laboratorium TNO

1.0-894464



telefoon 070-3204221

rapport no.
FEL-90-A125

exemplaar no. 8

titel

Meetopstelling van een gepulste CO₂
laser afstandsmeter met heterodyne
detectie

1.0-894464

DTIC FILE AD-A228 665

TDCK RAPPORTENCENTRALE
Frederikkazerne, Geb. 140
van den Burchlaan 31
Telefoon: 070-3166394/6395
Telefax : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag



DTIC
ELECTE
OCT 31 1990
S E D

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;
Distribution Unlimited

90 10 25 045

TNO-rapport

Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage
Oude Waalsdorperweg 63
's-Gravenhage

Telefax 070 - 328 09 61
Telefoon 070 - 326 42 21

rapport no.
FEL-90-A125

exemplaar no.

8

titel

Meetopstelling van een gepulste CO₂
laser afstandsmeter met heterodyne
detectie

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan

auteur(s):

J. Bloem

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
overeenkomst.

© TNO

TDCK RAPPORTENCENTRALE
Frederikkazerne, Geb. 140
van den Eurchlaan 31
Telefoon: 070-3166394/6395
Telefax : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag

TDCK

rubricering

titel

: ongerubriceerd

samenvatting

: ongerubriceerd

rapport

: ongerubriceerd

bijlage A

: ongerubriceerd

Accession For	
AVIS GRA&I	<input checked="" type="checkbox"/>
DTIC TAB	<input checked="" type="checkbox"/>
Unannounced	<input type="checkbox"/>
Justification	
By _____	
Distribution/	
Availability Codes	
Dist	Avail and/or Special
A-1	

oplage

: 20

aantal bladzijden

: 56 (incl. titelpagina + bijlage;
excl. RDP + distributielijst)

aantal bijlagen

: 1

datum

: augustus 1990

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;
Distribution Unlimited

TNO

DTIC
ELECTE
OCT 31 1990
S E D

rapport no. : FEL-90-A125
titel : Meetopstelling van een gepulste CO₂ laser afstands-
meter met heterodyne detectie

auteur(s) : J. Bloem
instituut : Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

datum : augustus 1990
hdo-opdr.no. : A84KL121
no. in iwp '90 : 715.2

=====

SAMENVATTING (ONGERUBRICEERD)

In dit verslag wordt een meetopstelling beschreven van een heterodyne gepulste CO₂ laser afstandsmeter. Met deze opstelling kunnen afstanden (en in de toekomst ook snelheden) gemeten worden tot diffuus reflecterende doelen. Deze opstelling is opgebouwd rond een hybride CW-TEA laser als zender en een RF-laser als lokale oscillator. De stabilisatie van beide lasers wordt in detail beschreven. De frekwenties van de lasers worden zodanig geregeld dat de verschilfrekwentie tussen de uitgezonden laserpuls en lokale oscillatorlaser 20 MHz bedraagt. De afwijking hiervan is maximaal 50 kHz op de lange termijn (20 à 30 minuten). De invloed van het pulsen op deze stabilisatie is uitgeschakeld. Er is een begin gemaakt met de signaalverwerking. Hiervoor is een summier model ontwikkeld van de puls en zijn karakteristiek op het gebied van de frekwentie. Er is een AM demodulator gerealiseerd waarmee de omhullende vorm van de gereflecteerde pulsen kunnen worden bepaald.

report no. : FEL-90-A125
title : Experimental set-up for a pulsed CO₂ laser range-finder with heterodyne detection
author(s) : J. Bloem
institute : TNO Physics and Electronics Laboratory
date : August 1990
NDRO no. : A84KL121
no. in pow '90 : 715.2

ABSTRACT (UNCLASSIFIED)

is described
This report describes *↓* the realization of a pulsed CO₂ laser rangefinder with heterodyne detection. The realized system can be used to measure the range to (and in the future also the speed of) diffuse reflecting targets. The rangefinder uses a hybrid CW-TEA laser as emitter and an RF laser as local oscillator. The stabilization of these lasers is described in detail. The frequency offset between the transmitted laser pulse and the local oscillator laser is locked at 20 MHz. The long term (20 to 30 minutes) variation in this offset frequency is limited to 50 kHz. The effects of pulsing on this stabilization are eliminated. A start has been made with the signal processing. A rough model of the laser pulse and its frequency characteristics has been developed. An AM-demodulator is realized to determine the envelope of the reflected pulses.

Keywords: Range finding; Laser applications. (RH) *↑*

INHOUD

SAMENVATTING	1
SUMMARY	2
INHOUDSOPGAVE	3
1 INLEIDING	4
2 MEETOPSTELLING VOOR EEN HETERODYNE GEPULSTE LASER AFSTANDSMETER	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Meetopstelling	7
2.3 Ontvangoptiek	9
2.4 Uitlijnen	11
2.5 Laserproblemen	13
3 OPTISCHE HETERODYNE DETECTIE	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Zend- en ontvangoptiek	16
4 FREKWENTIE-STABILISATIE VAN DE LASERS	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Lock-in regeling	22
4.3 Stabilisatie met behulp van beatsignaal	23
4.4 Regelmodel	25
4.5 Resultaat	26

5	SIGNAALVERWERKING	27
5.1	Inleiding	27
5.2	Afstand- en snelheidmeting	27
5.2.1.	Doppler-effekt	28
5.3	Frekwentie-analyse van de gemoduleerde puls	30
5.4	Bemonstering van de gemoduleerde puls	31
5.5	Computerprogramma	33
6	LITERATUURONDERZOEK	35
	CONCLUSIE	38
	REFERENTIES	40
	BIJLAGE A FIGUREN	

1 INLEIDING

Eind januari 1988 is begonnen met de opbouw van een gepulste heterodyne laser afstandsmeter opstelling. Het doel van de inspanning is een verkenningstudie van het gebied van de coherente detectietechniek met behulp van een gepulste CO_2 laser. Met de opstelling is het mogelijk afstanden tot en snelheden van diffuus reflecterende objecten te meten. Dit kunnen hard reflecterende objecten zijn, zoals gebouwen en dergelijke, maar ook bijvoorbeeld aerosolen.

De hybride CW-TEA laser zendt, naast een continue golf, korte lichtpulsen uit. Deze lichtpulsen hebben een hoge energiedichtheid waardoor metingen van grotere afstanden mogelijk worden. Daarnaast is voor de heterodyne detectiemethode gekozen, omdat hiermee de gevoeligheid een faktor 100 tot 1000 hoger is dan met een vergelijkbaar systeem gebaseerd op directe detectie.

Afstandsmeting zal plaatsvinden door middel van bepaling van de looptijd van de gereflecteerde puls. Een bijkomend voordeel is de mogelijkheid Doppler-verschuivingen te kunnen meten en hiermee dus snelheden van bewegende voorwerpen of van wind.

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van de gerealiseerde opstelling. Hierbij komen onderwerpen aan de orde als keuze van optieken, uitlijning van de lasers, problemen met de lasers en meetresultaten van de opstelling. De thans gerealiseerde opstelling is gebaseerd op de in hoofdstuk 3 weergegeven theoretische eisen waaraan de optiek moet voldoen bij optische heterodyne detectie. Hierbij zijn vooral van belang de diameters van de zend- en de ontvangbundel. In hoofdstuk 4 wordt uiteengezet hoe de verschilfrekwentie van beide in de opstelling gebruikte continue lasers gestabiliseerd wordt. Hoofdstuk 5 gaat dieper in op de signaalverwerking van de opstelling. Hier worden de eigenschappen van de te verwerken elektrische signalen nader bekeken.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 6 een opsomming gegeven van vergelijkbare experimentele opstellingen in andere laboratoria.

Het onderzoek is verricht in het kader van de opdracht A84KL121.

2 MEETOPSTELLING VAN EEN HETERODYNE GEPULSTE LASER AFSTANDSMETER

2.1 Inleiding

Vanwege de mogelijkheid afstanden te meten tot diffuus reflecterende objecten op vele kilometers afstand is een meetopstelling opgebouwd op niveau 10 van het FEL-TNO. Hier is een uitzicht naar bijna alle wind-richtingen beschikbaar. In dit hoofdstuk wordt de opstelling beschreven van de heterodyne gepulste laser afstandsmeter. Eerst wordt ingegaan op de configuratie van de lasers, de lenzen en de spiegels. Dan wordt een argumentatie gevoerd voor de keuze van de lenzen. Verder volgt een toelichting op de uitlijnprocedure en tot slot worden enkele problemen besproken die zijn opgetreden met de lasers. Het principe van de heterodyne detectie en de daaruit volgende eisen waaraan de opstelling moet voldoen, worden besproken in hoofdstuk 3.

2.2 De meetopstelling

De kern van de opstelling is de CW-TEA hybride CO_2 laser. Deze is uitgebreid beschreven in het rapport van Dr. W.W.M. Knippers (ref.[1]). Kort samengevat bestaat deze uit één resonantieruimte met zowel een CW-sectie als een puls(TEA)-sectie. De CW-sectie levert ongeveer 1 Watt. De TEA-sectie levert een puls met een energie van ongeveer 40 mJ met een maximale frekwentie van 3 pulsen per seconde. De puls heeft een breedte van ongeveer 200 ns en een staart van $\approx 1 \mu\text{s}$. De puls is "frequency-locked", hetgeen wil zeggen dat dezelfde frekwentie wordt aangenomen als de heersende resonantiefrekwentie van de CW-sectie.

Een schema van de opstelling is getekend in figuur 2.1. De TEA laser zendt pulsen uit via achtereenvolgens een beamsplitter (BS1), een bundelvergroter (BE2), een spiegel (S1) en een scan-spiegel (SS). Optiek BE2 vergroot de bundeldiameter met een faktor 10, tot 50 mm. Tevens neemt de divergentie van de TEA bundel af met een faktor 10, tot

0,1 mrad. De spiegel S1 is fijn instelbaar wegens de noodzaak de zender en de ontvanger apart te kunnen uitlijnen.

De scanspiegel bestaat uit twee boven elkaar geplaatste, met aluminium opgedampte optisch vlakke glazen platen. De onderste is vast opgesteld onder een hoek van 45° met de tafel, de bovenste is cardanisch opgehangen. De bovenste spiegel wordt bestuurd met stappenmotoren. De elevatiehoek- en azimuthresolutie zijn resp. $15 \mu\text{rad/stap}$ en $16 \mu\text{rad/stap}$ (kwartje op kilometer afstand). De mogelijkheid bestaat de spiegel per stap te sturen. Zie figuur 2.2.

Na reflectie, op kleine deeltjes in de atmosfeer of op een hard doel, wordt de gereflecteerde puls gefocuseerd op de met stikstof gekoelde HgCdTe-detector (D1). De ontvangoptiek bestaat uit de scan-spiegel (SS), een lens (L1), een spiegel (S3), een beamsplitter (BS3) en vervolgens nog een lens (L2). De brandpuntsafstand van L1 is zodanig gekozen dat de afbeelding van de door de zender verlichte spot ruim binnen de grenzen van het gevoelig oppervlak van de detector ligt ($200 \times 200 \mu\text{m}$). De lens L2 transleert de afbeelding naar de detector.

Als lokale oscillator wordt een waveguide CO_2 laser (RF) gebruikt. De bundel wordt opgeblazen (BE1) tot een diameter van 25 mm en daarna gefocuseerd op de beamsplitter (BS3). De brandpuntsafstand van de lens L3 is zodanig gekozen dat een zelfde convergentie wordt gerealiseerd als lens L1. Dit is gedaan om een zo goed mogelijke matching te krijgen van de golffronten van de RF-laser en het gereflecteerde signaal. Op de beamsplitter (BS3) vindt deze menging plaats. Het interferentiesignaal wordt opgevangen door de HgCdTe-detector. De detector wordt bij heterodyne detectie door de lokale oscillator zodanig belicht dat de totale ruis bepaald wordt door de shotnoise van de lokale oscillator.

Ten behoeve van de stabilisatie van beide lasers zijn extra optische componenten toegevoegd. Beamsplitter BS5 laat 5% van het vermogen door voor pyrodetektor D3. Dit signaal wordt gebruikt om de RF laser te stabiliseren (zie hoofdstuk 4). Frekwentie stabilisatie van de CW-TEA laser is gebaseerd op meting van de frekwentie van het beatsignaal dat wordt gecreëerd met behulp van BS1, S2, BS2 en BS4. Meer over het stabilisatiemechanisme volgt in hoofdstuk 4.

Tot slot is er de CCD-camera (C) die "meekijkt" met de zender-ontvanger via de scan-spiegel. Hiermee kan het doel zichtbaar worden gemaakt op een monitor, zodat bekend is waar de afstandsmeter op is gericht.

2.3 Ontvangoptiek

De lens waardoor een lichtbundel passeert brengt ook ongewenste verstoringen aan op deze lichtbundel. Ten eerste komt dat door diffractie en ten tweede door lensfouten. De diffractie van de lens is een gegeven, maar de lensfouten kunnen door een juiste keuze van de lensparameters geminimaliseerd worden.

Ten gevolge van diffractie is (bij het invallen van een vlak golffront) in het brandpunt van de lens de meeste energie geconcentreerd in een spot van eindige afmetingen, de zogenaamde Airy Disk. De grootte hiervan wordt uitgedrukt in de hoek "blur". Zie figuur 2.3. De grootte van de blur wordt gegeven door de vergelijking

$$\beta = 2,44 \cdot \lambda / D \quad (2.1)$$

waarin β : de hoek "blur"

λ : de golflengte

D : de diameter van de lens.

De diameter van de Airy Disk wordt dan bepaald door de verhouding f/D ; f is de brandpuntsafstand. Om te zorgen dat de energie volledig op het gevoelig oppervlak van de detector ($200 \times 200 \mu\text{m}$) invalt zijn we beperkt in de keuze van de brandpuntsafstand van lens L1. (De diameter D wordt namelijk voorgeschreven, zie hoofdstuk 3). Met $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, $D = 50 \text{ mm}$, moet gelden

$$2,44 \cdot \lambda \cdot f/D < 200 \mu\text{m} \quad (2.2)$$

De diffractie stelt hiermee een grens voor de brandpuntsafstand van $f < 38 \text{ cm}$.

Van de lensfouten is in dit geval de sferische abberatie het belangrijkste. In het "Handbook of Optics" (ref. [2], p259) is in grafiek- en formulevorm weergegeven hoe groot de invloed hiervan is, mits de voorwerpsafstand oneindig is. Ook de sferische abberatie wordt uitgedrukt in de blur β . De van invloed zijnde parameters zijn: de doorsnede D , de brandpuntsafstand f , de brekingsindex n van het lensmateriaal en de stralen van beide sferische zijden R_1 en R_2 van de lens. Voor lens L_1 gelden de volgende waarden. $D = 50$ mm, $f = 38$ cm, $n = 2,405$ (ZnSe), $R_1 = 350$ mm (convexe zijde) en $R_2 = 1013$ mm (concave zijde). Hieruit volgt voor de diameter van de blur ongeveer $16 \mu\text{m}$. De sferische abberatie is daarom klein in vergelijking met de diffractie.

Het is echter in de opstelling niet zo dat de detector in het brandpunt van L_1 staat. Er wordt eerst nog een afbeelding gemaakt via L_2 . De hierdoor toegevoegde verstoring is moeilijk te voorspellen omdat de golffronten niet loodrecht op de apertuur invallen. Deze lens is in de opstelling geplaatst om het brandpunt te verleggen. In de toekomst kan L_2 eventueel verwijderd worden.

Tot slot is ook de blur bepaald van lens L_3 . Met de waarden $D = 38$ mm, $f = 100$ mm, $n = 4.0$ (Ge) en $R_2/(R_2-R_1) = 3$ volgt dat de spot als gevolg van abberatie een doorsnede heeft van $480 \mu\text{m}$. Dit is ook bepaald met behulp van ref. [9]. Hierbij mag echter eigenlijk niet vergeten worden dat het nu gaat om een laserbundel met een Gausse intensiteitsdoorsnede en dus niet om een oneindige voorwerpsafstand; de invloed als gevolg van dit verschil wordt gering geacht.

De bijdrage als gevolg van diffractie is beperkter, namelijk $68 \mu\text{m}$. Ter plaatse van de detector is met de meskliefmethode (ref. [1]) de diameter van de spot gemeten. Deze was $430 \mu\text{m}$, hetgeen iets beter is dan de verwachting. Uit deze resultaten blijkt ook dat de RF bundel ruim over het detectoroppervlak valt, hetgeen geen probleem is als tenminste wordt voldaan aan twee voorwaarden. De golffronten moeten gematched zijn aan die van de verstrooide bundel en de detector moet voldoende energie

kunnen ontvangen om in het werkgebied net onder de verzadigingsgrens te werken.

2.4 Uitlijnen

Het uitlijnen van de opstelling heeft ten doel de zender en de ontvanger op hetzelfde object te richten. Deze doelen bevinden zich op afstanden van 5 tot 30 km. Als eerste opstap hiervoor worden de zender en de ontvanger op een retroreflector op een afstand van 235 m gericht. Hierna wordt op een verder gelegen doel gericht en de opstelling wordt ge-optimaliseerd tot een zo sterk mogelijk meetsignaal ontvangen wordt.

Het uitlijnen van de opstelling is te ontrafelen in drie aparte procedures: die van de ontvanger, die van de zender en die van de lokale oscillator. Voor het uitlijnen is gebruik gemaakt van de meteotoren (235 m afstand). Deze is zeer geschikt om hulpmiddelen als infraroodbronnen, een He-Ne laser en reflectoren te herbergen. De tafel met optiek staat gericht op het N.O., terwijl de meteotoren richting Z.W. is. Door in de hoek van de torenkamer een extra spiegel op te hangen kan momenteel "terug"gekeken worden. Zie figuur 2.4.

Ontvanger

De ontvangoptiek bestaat uit spiegels en ZnSe lenzen. Hierdoor is het mogelijk met een HeNe-laser vanuit de meteotoren een afbeelding te maken op de detektor. De lichtweg van dit zichtbare licht is goed te volgen door de lenzen. Er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de brekingsindex voor zichtbaar licht anders is dan voor infraroodstraling. De detektor moet daarom voor de infrarooddetectie 2 cm verder geplaatst worden. Nadat de HeNe bundel ongeschonden via de optiek de detektor bereikt kan de HeNe laser vervangen worden door een infraroodbron. In dit geval is gebruik gemaakt van een kookplaatje met daarvoor een chopper geplaatst. Met de detektor wordt nu gescand tot dit signaal wordt waargenomen. Door manipulatie van de optiek kan dit signaal worden gemaximaliseerd. Er is nu bekend waarop de ontvanger is gericht.

Zender

De zender wordt eerst uitgelijnd zonder beamexpander. Het gemakkelijkst gaat dit door op de plaats van het kookplaatje (zie de procedure voor uitlijning van de ontvanger) een grote retroreflector te plaatsen. Bij het scannen met een gechopte zendbundel over de meteotoren wordt door de ontvanger al snel een signaal gedetekteerd. Mocht het moeilijk zijn om te bepalen of er überhaupt wel gezonden wordt in de richting van de meteotoren, dan kan gebruik worden gemaakt van een HeNe laser. Deze wordt in de lichtweg opgenomen van de uit te zenden laserbundel. Er wordt gescand met de zender tot iemand in de meteotoren deze bundel ziet. De HeNe bundel kan nu verwijderd worden uit de opstelling. De CW laserbundel moet nu ongeveer gericht zijn op de meteotoren. Door een beetje te scannen moet de retroreflector nu worden waargenomen.

De zender en de ontvanger worden nu zodanig afgeregeld dat een maximaal signaal ontvangen wordt van de retroreflector. De beamexpander wordt nu in de zendbundel geplaatst. De beamexpander kan nu zodanig worden ingesteld dat er een reflectie wordt waargenomen. De beamexpander ligt dan op de optische as van de zender. Het volgende probleem is het instellen van het objektief. De bundel moet zo evenwijdig mogelijk uit de beamexpander treden. Er wordt van uitgegaan dat de laser-bundel diffraktiebegrensd is. Bij focuseren op de meteotoren wordt daarom, slechts als gevolg van diffractie, nog steeds een eindige diameter gemeten. Deze bundeldoorsnede wordt gegeven door:

$$D_m = 4 \cdot \lambda \cdot L / \pi \cdot D_z \quad (2.3)$$

Hierin zijn D_m en D_z respectievelijk de doorsnede van de zendbundel ter plaatse van de meteotoren en ter plaatse van vertrek. Met de waarden $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$, $L = 235 \text{ m}$, $D_z = 5 \text{ cm}$ is $D_m \approx 6,3 \text{ cm}$. De kleinste diameter die op de meteotoren gemeten is, (met een pyrodetektor kon hier de gechopte laserbundel worden waargenomen) is ongeveer 8 cm. Dit komt niet helemaal overeen met de verwachting maar dit kan komen doordat misschien de

zendbundel iets kleiner is dan aangenomen (4,5 cm). Ook is de nauwkeurigheid van de meting van 8 cm hooguit 1 cm. Om de beamexpander te focuseren op oneindig moet het objectief iets naar binnen gedraaid worden. De uitgezonden bundel moet bestaan uit een parallelle bundel van 5 cm en uit de diffractie. De diffractie bij de meteotoren is 8 cm, daarom wordt de totale diameter afgesteld op 13 cm ter plaatse van de meteotoren.

Lokale oscillator

Het uitlijnen van de RF-laser vergt enige toelichting. De bundel moet met behulp van een bundelvergroter worden opgeblazen. Om zo veel mogelijk energie de BE te laten passeren moet deze zo dicht mogelijk bij de laser geplaatst worden. De divergentie van de laser is namelijk 5 mrad, hetgeen overeenkomt met een diametervergroting van 5 mm op elke afgelegde meter.

Bij een redelijk vermogen van de RF-laser (>0.6 W) is het uitlijnen geen probleem, omdat dan de bundel uit de bundelvergroter zichtbaar te maken is op de fluorescerende plaatjes met een UV-TL lampje. Hiermee is goed te zien of de bundel parallel blijft, een egale intensiteit heeft en in welke richting hij gaat.

2.5 Laserproblemen

Tijdens het gebruik van de CW-TEA laser en de RF laser is het duidelijk geworden dat er last is van een aantal kinderziekten.

Ten eerste was er een probleem met de gasvullingen in de laserbuizen. In de cavity van beide lasers is een glazen buis gemonteerd met daarin een gasmengsel van H_2 , Xe, CO_2 , N_2 en He. Deze buizen opereren bij onderdruk en blijken niet lang bestand te zijn tegen het inleken van zuurstof en stikstof. Het is ook waarschijnlijk dat een vluchtig gas als He naar buiten lekt. Hierdoor neemt het vermogen af waardoor leegpompen en hervullen van de lasers noodzakelijk wordt. De RF laser heeft hiervoor een cyclus van ongeveer 3 à 4 maanden. De CW-TEA laser werkt met een nog lagere druk en dient ongeveer elke maand hervuld te worden.

Opvallend is dat een maximaal vermogen van de lasers niet bereikt wordt bij de opgegeven vuldrukken maar bij een lagere druk. Zo hoort de CW-TEA laser een nominale vuldruk te hebben van 18 mbar, maar een optimaal vermogen wordt bereikt bij 9 mbar. De RF laser waarden hiervoor zijn respectievelijk 125 mbar en 90 mbar. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Het leegpompen en vullen van de lasers verloopt momenteel zonder problemen.

Vervolgens is geconstateerd dat de CW gasbuis een grote vlek vertoonde op het Zn-Se Brewstervenster. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door het uitvloeien van de gebruikte lijm onder invloed van de warmte in de laser. (Dit wordt momenteel onderzocht.) De gasbuis is vervangen door een nieuw exemplaar. Het laservermogen is hierna gestegen van ongeveer 0,6 W naar ongeveer 1,5 W, hetgeen ook overeenkomstig de specificaties is.

Tijdens het pulsen is vereist dat de TEA-sectie gespoeld wordt onder atmosferische druk met een gasmengsel van CO_2 , N_2 en He. Zodra hiermee gestart wordt neemt het CW vermogen met ongeveer 30% af. Dit was aanvankelijk een probleem, omdat de laser hierdoor onder de drempel geraakte en geen vermogen meer leverde. Later (na vervanging van de gasbuis) gebeurde dit niet meer. De verklaring voor het afnemen van het vermogen is waarschijnlijk dat het CO_2 gas in de flow een gedeelte van de energie absorbeert. Slechts spoelen met N_2 en He heeft géén invloed op het vermogen.

De intensiteit van de CW-TEA laserbundel is niet Gaussisch over de doorsnede van de bundel. Het lijkt alsof boven op de bundel een klein bultje zit. Ook na vervanging van de gasbuis is dit nog het geval. Oorzaak hiervan is misschien het tralie, daar dit het enige niet-cirkelsymmetrische element is in de cavity.

Tevens vertonen beide lasers soms beatfrequenties op de detector met zeer stabiele frequenties. (Dit gebeurt overigens zonder dat ze optisch gemengd worden.) Dit betekent dat er binnen één laser verschillende

modes zijn met iets afwijkende frekquenties die een beatsignaal van bijvoorbeeld 12 MHz op de detektor kunnen geven. Dit zijn waarschijnlijk transversale modes. Meestal is het mogelijk geweest de lasers zo in te stellen dat er geen hinderlijke extra modes zichtbaar waren. Oorzaak voor deze extra modi is de mogelijkheid voor een staande golf om te resoneren via een andere weg dan door het midden van de cavity. Meestal kan door het verdraaien van het tralie hier iets aan gedaan worden. Mogelijkerwijs speelt ook hier het tralie dus een rol.

Tot slot is gebleken dat de RF laser, die gevoed wordt door een wisselspanning met een frekwentie van 80 MHz, erg gevoelig is voor een juiste impedantie-aanpassing. Ook het instellen van de juiste frekwentie is tamelijk kritisch. Dit uit zich wel eens in het niet opstarten van de laser wanneer de gasbuis reeds lange tijd niet is hervuld.

3 OPTISCHE HETERODYNE DETECTIE

3.1 Inleiding

Bij optische heterodyne detectie worden twee monochromatische lichtbundels (met cirkelfrekquenties w_1 en w_2) samengevoegd, met de golffronten parallel, alvorens op een detector te vallen. De som van beide signalen wordt waargenomen met een kwadratische detector. Wanneer de verschilfrekwentie $|w_1 - w_2|$ binnen de elektrische bandbreedte van de detector valt, dan wordt deze "beat"-frekwentie waargenomen. De frequenties w_1 , w_2 en de somfrekwentie vallen doorgaans buiten de elektrische bandbreedte en leveren alleen een DC-bijdrage.

In ons geval bestaan de twee bundels uit de door het doel gereflecteerde straling en de straling van de lokale oscillator. Deze twee bundels worden gemengd op een beamsplitter. Zie figuur 2.1., BS3.

Voor een beatsignaal met een zo groot mogelijk vermogen is het belangrijk dat de golffronten van beide bundels parallel zijn. In paragraaf 3.2 wordt beschreven aan welke eisen de zend- en ontvangoptieken moeten voldoen om dit te bewerkstelligen.

Het nut van het gebruik van heterodyne detectie vergeleken met directe detectie (detectie van het verstrooide signaal zonder menging met een lokale oscillator) is gelegen in een grotere gevoeligheid en in het behoud van frekwentie en fase van de verstrooide bundel. In dit rapport wordt hier niet op ingegaan. Deze eigenschappen worden beschreven in een rapport van Dr. J.P.M. de Vreede (ref. [12]).

3.2 Zend- en ontvangoptiek

Bij aanvang van de opbouw van de opstelling is eerst uitgegaan van een telescoop als ontvanger. Dit is een holle spiegel met een middellijn van 200 mm en een brandpuntsafstand van 1 meter. Hiermee werd de straling

opgevangen en afgebeeld op de detector. De verhouding van deze diameter en de diameter van de uitgezonden TEA laserbundel is echter een belangrijke parameter in coherente zend-ontvang systemen. Deze verhouding had een waarde van ongeveer 50 en hoort ongeveer 1 te zijn. De argumentatie hiervoor gaat als volgt.

Bij het toepassen van coherente detectie moeten zo goed mogelijk evenwijdige golffronten ontvangen worden op de detector. Zie figuur 3.1. Er wordt uitgegaan van een lokale oscillator met een goed gedefinieerd golffront. Wordt een signaal als in figuur 3.1a met de lokale oscillator gemengd, dan zal op het detectoroppervlak een interferentiepatroon met fringes waar te nemen zijn. Er vindt uitdoving plaats. Wenselijker is een signaal zoals te zien in figuur 3.1b. Welke eisen worden gesteld aan het optische systeem om een dergelijke reflectie te ontvangen wordt hieronder uitgelegd (zie ook figuur 3.2).

Ontvangerzijde

De straal van de ontvanger is R_o en de straal van de door de zender verlichte spot op het diffuus reflecterende oppervlak is R_d . Stel er wordt uitgegaan van een zich bolvormig verspreidend veld als gevolg van een reflecterend elementje aan de rand van de spot op het doel. We zijn geïnteresseerd in het weglengteverschil $L_1 - L_2 (= \Delta L)$.

$$L_1^2 = L^2 + (R_d + R_o)^2$$

$$L_2^2 = L^2 + (R_d - R_o)^2$$

$$L_1^2 - L_2^2 = 4R_d R_o \quad \rightarrow$$

$$(L_1 + L_2)(L_1 - L_2) = 4R_d R_o \quad \rightarrow$$

$$\Delta L \approx 4R_d R_o / 2L \quad \rightarrow$$

$$\Delta L \approx 2R_d R_o / L \quad (3.1)$$

Voor goede coherente detectie moet gelden dat $\Delta L < \frac{1}{2} \lambda$:

$$\begin{aligned}\Delta L &< \frac{1}{2} \lambda && \rightarrow \\ 2R_d R_o / L &< \frac{1}{2} \lambda && \rightarrow \\ R_d &< \lambda L / 4R_o && (3.2)\end{aligned}$$

Hiermee is een maximum waarde bepaald voor de straal van de spot op het doel, als functie van de gebruikte golflengte, de afstand en de straal van het ontvangoppervlak. Welke eisen moeten nu worden gesteld aan de zenderconfiguratie opdat de straal van de spot niet groter is dan dit maximum?

Zenderzijde

De uitgezonden bundel heeft een Gausse intensiteitsverdeling en is diffraktiebegrensd. De straal van de spot van deze bundel op grote afstand L wordt gegeven door de volgende vergelijking (ref. [13]):

$$R_d = \lambda L / \pi R_z \quad (3.3)$$

Hierin is λ de golflengte en R_z de straal van de uitgezonden laserbundel. Vergelijking van (3.2) en (3.3) geeft nu dat voor optimale coherente detectie moet gelden dat:

$$R_z > 4R_o / \pi \quad (3.4)$$

Zoals hieronder wordt uitgelegd ligt het nu voor de hand de straal van de uitgezonden bundel en van de ontvanglens ongeveer even groot te kiezen. Beperkingen liggen hier op het financiële vlak. De aanschafkosten van een beamexpander en een goede ontvanglens zijn nogal hoog. Er wordt nu gewerkt met een uitgezonden laserbundel en een ontvanglens met beide een diameter van 50 mm.

In bovenstaand stukje theorie is in feite een berekening gedaan aan wat wel genoemd wordt de spatiële coherentie van een diffuus reflecterend doel. In elk punt van de ruimte vindt een optelling plaats van velden afkomstig van het reflecterende doel. Als gevolg van de eindige afmeting van de spot zijn er gebiedjes op afstand L van de spot waar de fasefronten niet meer dan een $\frac{1}{2} \lambda$ van elkaar verschillen.

Uit vergelijking (3.2) volgt dat voor optimale coherente detectie geldt dat de straal van de spot R_d een maximale waarde mag hebben van $\lambda L / 4R_o$. Deze vergelijking kan ook worden omgedraaid. Bij een straal R_d van de spot hoeft de straal R_o van de ontvanger niet groter te zijn dan $\lambda L / 4R_d$. Vervangen we R_d en R_o door hun respektievelijke diameters D_d en D_o dan krijgen we de vergelijking

$$D_o \approx \lambda L / D_d. \quad (3.5)$$

D_o geeft nu de diameter aan van een coherent oppervlak op afstand L van een diffuus stralende spot met diameter D_d . In de literatuur komt dit resultaat veel terug onder de term spatiële coherentie of transversale coherentielengte (ref. [2] en [3]).

Samenvattend kan gesteld worden dat tegenover het voordeel van de grotere gevoeligheid van heterodyne detectie ook een nadeel staat. De diameters van de uitgezonden en ontvangen bundels moeten gematched worden. Hierbij wordt overigens opgemerkt dat gestreefd moet worden naar zo groot mogelijke diameters. Immers: de hoeveelheid gereflecteerde energie is evenredig met het kwadraat van de diameter van de ontvanger. Het heeft echter geen zin de ontvangdiameter te vergroten zonder dit met de uitgezonden bundel ook te doen.

Tot slot wordt de spatiële coherentielengte in de praktijk ook beïnvloed door atmosferische turbulenties. In een artikel van Fried (ref. [14]) wordt aangetoond dat er zelfs een praktische grens is aan het vergroten van de zend- en ontvangdiameters. Boven een doorsnede van 30 cm zijn de

golffronten, bij een golflengte van $10,6 \mu\text{m}$, zodanig verstoord dat coherente detectie geen winst meer oplevert. In de literatuur worden, voor toepassingen als de onze, dan ook geen systemen gevonden met een grotere diameter.

4 FREKWENTIE-STABILISATIE VAN DE LASERS

4.1 Inleiding

Bij het bedrijven van heterodyne detectie is een beatsignaal vereist met een stabiele frekwentie. Het beatsignaal is het resultaat van de menging van twee bundels afkomstig uit twee verschillende lasers, namelijk de lokale oscillator (RF-laser) en de CW-TEA laser. Bij beide lasers is het mogelijk door middel van het verstellen van een tralie een lijn uit het CO_2 -spectrum in de 9 en 10 μm band te selekteren. Bij beide lasers is ook de uitkoppelspiegel bevestigd op een piëzo-element. Hiermee kan de lengte van de lasercavity gevarieerd worden waarmee men de resonantiefrekwentie fijn kan instellen onder een eenmaal met het tralie gekozen lijn.

Bij beide lasers zijn dus de resonantiefrekwenties beïnvloedbaar. Omdat de 10P20 lijn de sterkste is in het CO_2 spectrum ligt het voor de hand deze te nemen. Vanwege elektronische redenen is momenteel voor de frekwentie van het beatsignaal gekozen voor 20 MHz. (De bemonsteringsapparatuur waarmee de signalen in de toekomst geregistreerd zullen gaan worden heeft een bandbreedte van 20 MHz.) Dit is geen definitieve keuze, deze kan dus hoger. Echter, een beperking is gelegen in de eindige spectrale breedte van de gaussisch gevormde 10P20-lijn. Die is ongeveer 40 à 50 MHz.

Bij voorgaande experimenten (ref. [1]) zijn van beide lasers afzonderlijk de resonantiefrekwenties met behulp van een regelsysteem (lock-in techniek) onder de top van de lijn gehouden. Meting van de beatfrekwentie gaf een drift van soms 10 MHz in een meetperiode van 100 seconden. Naar aanleiding van dit niet bevredigende resultaat is een andere wijze van stabiliseren uitgewerkt. Met behulp van terugkoppeling van de beatfrekwentie naar de piëzo-instelling van een van beide lasers kan ook gestabiliseerd worden. Deze methode wordt beschreven in paragraaf 4.3.

In paragraaf 4.2 wordt de voorheen gebruikte wijze van stabiliseren uiteengezet. (Zie ook ref. [1] voor een beschrijving van de regeling.)

4.2 Lock-in regeling

In figuur 4.1. is schematisch de werking weergegeven van een stabilisatieregeling van de frekwentie, gebaseerd op de lock-in techniek. De componenten hierin zijn: een oscillator van 230 Hz, een bandfilter rond 230 Hz, een hoogspanningsversterker voor het piëzo-element, een fase-gevoelige detector (PSD), een pyrodetector en twee gewone versterkers. Met de schakelaar in de search mode is het mogelijk handmatig de piëzo-spanning tussen -900 en +900 Volt te variëren. Op deze DC-spanning wordt door de oscillator een wisselspanning van enige volts gesuperponeerd. Mocht nu de resonantiefrekwentie van de laser zich niet onder de top van het versterkingsprofiel bevinden (figuur 4.2), dan is op het vermogen van de outputbundel een oscillatie waarneembaar van 230 Hz. Met behulp van een beamsplitter wordt een klein percentage van de laserbundel naar een pyrodetector geleid waarmee de oscillatie te detecteren is. Bevindt de resonantielij n zich onder de rechter flank, dan is de oscillatie 180° uit fase met de oscillatie die behoort bij de resonantie onder de linker flank. De PSD kan, met als referentie de oscillator, hieruit de informatie afleiden voor het bijsturen van het piëzo-element. In de lock-mode kan deze bijsturing gebeuren door middel van een ingebouwde integrator (tijdconstante $\gamma = 2$ s) in het PSD.

Op deze wijze wordt de stabilisatie verzorgd van de local oscillator (RF laser). De CW-TEA laser kan op dezelfde wijze gestabiliseerd worden, zij het met twee kleine verschillen. Een en ander is weergegeven in fig. 4.3a, de frekwentieregeling van de RF-laser en fig. 4.3b, de frekwentieregeling van de CW-TEA laser.

Ten eerste spreekt de aangebrachte oscillatie op het piëzo-element niet alleen door op het laseroutputvermogen maar ook op de impedantie van de laserbuisgasvulling. Tijdens bedrijf van de laser wordt door een elektrische voedingsbron een stroom van 15 mA door dit gas geleid (pompen

van de laser). Door het aanbrengen van een kleine serieweerstand (500 ohm) wordt de impedantieverandering van de vulling meetbaar als een spanningsverandering over de weerstand. Bij de CW-TEA laser wordt dit signaal gebruikt als ingangssignaal voor de stabilisatieregeling.

Ten tweede wordt de interne oscillator van deze regeling vervangen door de oscillator van de RF-stabilisatieregeling. Door het aanbrengen van de oscillatie varieert namelijk niet alleen het laservermogen maar ook de resonantiefrekwentie (enkele MHz'en). Omdat de bundels van beide lasers interfereren is het noodzakelijk dat bij beide lasers deze oscillatie in de resonantiefrekwentie dezelfde amplitude en fase heeft. Bij een goede instelling van de fasedraaiing en de amplitude wordt deze zweving dan tenietgedaan. Het zal erg moeilijk zijn de invloed van de 230 Hz modulatie helemaal uit te bannen. De overdracht van de 230 Hz bron naar de zwaai in de laserfrequentie gebeurt namelijk via het piezo-element. De overdrachtskarakteristiek van dit element is niet lineair over het volle bereik van -900 tot 900 Volt.

Voor het creëren van een beatsignaal moet een van beide lasers onder de flank van de lijn gestabiliseerd worden. Door een offset aan te brengen in de PSD (niet getekend in de figuur) stabiliseert een van beide lasers bijvoorbeeld onder de rechterflank van de lijn. Hierdoor heeft de beatfrequentie een instelbare waarde.

4.3 Stabilisatie met behulp van beatsignaal

De in paragraaf 4.2 beschreven wijze van stabiliseren bevatte geen koppeling tussen de regelsystemen. Beide regelingen proberen onafhankelijk van elkaar de resonantiefrekwenties onder de top van de lijn te houden. Door externe invloeden zoals temperatuur, maar ook mechanische trillingen, wordt de beatfrequentie erg beïnvloed.

Een betere manier van stabiliseren wordt bereikt door de terugkoppeling van de beatfrequentie naar de instelling van een van beide lasers. Een van de lasers (in dit geval de RF laser) blijft op de oude wijze ge-

stabiliseerd, terwijl een meting van de beatfrequentie leidt tot een bijstelling van het piëzo-element in de CW laser totdat de gewenste beatfrequentie van 20 MHz wordt bereikt. In figuur 4.3c is het elektronisch schema van deze regeling weergegeven (naast de regelingen van de RF- en de CW-lasers in fig. 4.3a en 4.3b).

De werking kan als volgt worden beschreven. Een lokaal opgewekt beat-sigitaal (zie figuur 2.1., D2) wordt gedetekteerd door een HgCdTe-detector. Deze is niet cryogeengekoeld en is dan ook niet erg gevoelig. Een detectorversterker versterkt en filtert (bandfilter 10-30 MHz) de beatfrequentie en zendt dit naar een Phase Locked Loop (PLL). Door vergelijking van de beatfrequentie met de frequentie van een interne oscillator in de PLL (20 MHz referentie) is een DC-sigitaal beschikbaar dat een maat is voor de afwijking hiertussen. Dit is het fout-sigitaal dat door een PI regelaar geïntegreerd wordt tot een stuursigitaal voor het piëzo-element. Via schakelaars wordt deze spanning naar de hoogspanningsvoeding geleid in de (oude) stabilisatieregeling van de CW-laser. Het piëzo-element wordt nu zo bijgesteld, dat de beatfrequentie dichterbij de gewenste frequentie van 20 MHz komt. Tot zover een beschrijving van de regeling. In paragraaf 4.4 wordt dieper ingegaan op enkele getalwaarden.

Omdat de RF laserstabilisatie de resonantiefrequentie onder de top van de lijn afregelt heeft dit voor de CW-laser tot gevolg dat er iets rechts of links van de top gestabiliseerd moet worden. Met behulp van de UP/DOWN CHIRP schakelaar kan de regeling hiervoor ingesteld worden.

In de frequentieregeling zijn enige signalen naar buiten uitgevoerd. Dit is onder andere het fout-sigitaal (aangegeven met letter A) afkomstig van de PLL. Hieraan kunnen metingen worden gedaan met betrekking tot de afwijking van de beatfrequentie tot de referentiefrequentie. Ook deze referentiefrequentie (B) is uitgevoerd.

Tot slot is in de regeling een "inhibit" schakeling ingebouwd. Hiermee wordt de ernstige verstoring die het pulsen van de TEA laser veroor-

zaakt, via de detector op het regelsysteem, gedurende een instelbare tijd (15 tot 400 ms) ongedaan gemaakt. Experimenteel is vastgesteld dat een onderbreking van de regelkring van 150 ms voldoende is. De "inhibit" schakeling wordt getriggerd door een oscillator in de voedingkast van de CW-TEA-laser. Deze oscillator genereert namelijk de pulsfrekwentie.

4.4 Regelmodel

Voor een beter begrip van het gedrag van de stabilisatieregeling is het nuttig om het geheel weer te geven in een theoretisch model (figuur 4.4.). De inputvariabele van het systeem is de v_{set} , welke een maat is voor de gewenste referentiefrekwentie. De output f_{beat} is de werkelijke beatfrekwentie.

De beatfrekwentie is het resultaat van het verschil tussen de twee resonantiefrekwenties $f_1 - f_2$, ruis en een correctie Δf als gevolg van de regeling. De meting van de beatfrekwentie (v_{beat}) wordt teruggekoppeld naar de gewenste referentiefrekwentie via de PLL. Het fout-sigitaal v_{error} wordt geïntegreerd door de regelaar en naar het piëzo-element gestuurd.

Een aantal elementen in de regelkring hebben een zekere tijdconstante γ . De belangrijkste zijn de PLL en het piëzo-element (ordegrootte 0,01 s). Fysisch betekent dit dat boven een bepaalde frekwentie ($1/2\pi\gamma$) de uitgangsspanning van een dergelijk element de variaties aan de ingang niet meer optimaal kan volgen. De uitgangsspanning vermindert in amplitude, maar belangrijker is dat de fase van het signaal gaat achterlopen (bij de ingangsspanning). Voor deze frekwenties heeft dit tot gevolg dat de regelkring niet tegengekoppeld is maar meegekoppeld. Dit zorgt voor oscillaties, zeker wanneer de rondgaande versterking verhoogd wordt. De integrator in de regelaar heeft een tijdconstante van 1 tot 5 seconden, wat overeenkomt met een afsnijfrekwentie van 1/6 tot 1/30 Hz. Het gevolg is dat bij ongeveer 5 of 10 Hz de fasedraaiing in de regelkring vrij groot is. Bij vergroten van de rondgaande versterking ontstaat bij deze frekwentie dan ook een oscillatie.

4.5 Resultaat

De stabiliteit van de beatfrequentie is momenteel ruim voldoende. Er is een beatfrequentie van 20 MHz met op de lange termijn (er is gemeten over een periode van 20 à 30 minuten) een afwijking hiervan van hooguit 50 kHz waarneembaar. De RMS waarde van de ruis op de beatfrequentie is dan ongeveer 30 kHz. Mocht de stabiliteit van de regelkring nochtans verbeterd willen worden, dan moet er een beter model gemaakt worden van het frequentie-afhankelijk gedrag van de PLL en het piëzo-element.

5 SIGNAALVERWERKING

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt naar een aantal aspecten van de signaalverwerking gekeken. De principes van de afstand- en snelheidmeting komen aan het licht. Er wordt aansluitend ook wat dieper ingegaan op de (frekwentie-) eigenschappen van de puls. Voor het bepalen van afstanden en snelheden uit het gemeten signaal wordt gekeken naar de toepassing van AM- en FM-detectie. Tot slot wordt een korte uitleg gegeven van een computer-programma waarmee met behulp van een IBM-PC en een IEEE kaart communicatie kan worden verkregen met een snelle digitizer.

5.2 Afstand- en snelheidmeting

De afstandmeting is gebaseerd op de meting van het tijdverschil tussen het moment van zenden van een puls en het moment van ontvangen van de reflectie. Een voorbeeld van zo'n reflectie is te zien in figuur 5.1. Hier is een reflectie signaal van een nabijgelegen flatgebouw, de afstand is 3 km. Eerst is de startpuls zichtbaar die in de vorm van elektromagnetische storing doorspreekt op het elektrisch signaal van de detector. Dit signaal is goed reproduceerbaar en zou voorlopig gebruikt kunnen worden als referentie voor het moment van zenden. De tweede puls, ca. 20 μ s later, is het gereflecteerde signaal van het flatgebouw. De oscillatie in de puls is de beatfrekwentie van 18 MHz. Met een AM-demodulator kan van dit signaal de omhullende vorm worden bepaald.

Bij de snelheidmeting wordt gekeken naar de verandering van de beatfrekwentie binnen een puls. Een aangestraald object, met een radiële snelheid v_r , zal de lichtfrekwentie als gevolg van het Doppler-effekt verschuiven ter grootte van:

$$\Delta f = 2v_r/\lambda \qquad (5.1)$$

Bij de gebruikte golflengte van $10,6 \mu\text{m}$ levert dit een verschuiving van 2 MHz voor een snelheid van 10 m/s. Met de huidige keuze voor de beatfrequentie van 20 MHz en een bandfilter achter de detector van 10 tot 40 MHz betekent dit dat snelheden gedetekteerd kunnen worden van -360 km/uur (naar ons toe) tot +180 km/uur (van ons af). De beatfrequentie zelf heeft een stabiliteit van ongeveer 50 kHz, zodat een nauwkeurigheid in de snelheidsmeting van ongeveer 0.3 m/s haalbaar zou moeten zijn.

In het bovenstaande is besproken welke signalen verwacht kunnen worden met de huidige zend-/ontvangopstelling. Een grondiger signaalverwerking in de toekomst vereist een betere studie van de eigenschappen van de te verwachten signalen. Dit wordt besproken in paragraaf 5.3.

5.2.1. Doppler-effekt

Om in eerste instantie wat meer gevoel te krijgen voor het Doppler-effekt zijn een tweetal experimenten uitgevoerd. Deze zijn vooralsnog gedaan aan reflecties van de CW bundel van de hybride laser. Dit wordt beschouwd als een opstapje voor het moeilijker werk van metingen aan dopplerverschuivingen binnen een puls.

Fluitende lantaarnpalen

Wanneer de CW bundel gericht wordt op een bewegend object heeft de Doppler-verschuiving een grootte van $\Delta f = 2v/\lambda$. Dit levert bij een snelheid van 1 cm/s reeds een Δf van 2 kHz. Rond deze orde van snelheden zijn deze bewegingen dus "hoorbaar". Een voorbeeld van een dergelijk object is een lantaarnpaal (of een wiebelende retroreflector). De frequentieverschuiving is gesuperponeerd op de frequentie van 20 MHz van het beatsignaal. Door dit signaal heterodyne te mengen, met behulp van een ringmodulator, met een lokale oscillator van 20 MHz, wordt de verschuiving "naar beneden" getransformeerd. Via een versterker en een luidspreker kan er nu geluisterd worden naar de beweging van lantaarnpalen. Een klein probleem is echter dat het beatsignaal een ruis vertoont in het frequentiespektrum ter grootte van ongeveer 50 kHz (zie

hoofdstuk 4). Dit spreekt dan ook door in de luidspreker. Daarom wordt als lokale oscillator het lokaal opgewekte beatsignaal gebruikt. Dit signaal vertoont precies dezelfde storingen die elkaar dan dus opheffen.

Trillingsdetektie

Ook trillende objecten geven door hun snelheidscomponent in radiële richting een Doppler-verschuiving aan de lichtbundel. Aan de hand van een voorbeeld met een luidsprekerconus met daarop een reflector zal dit duidelijk gemaakt worden.

Wanneer de luidspreker aangestuurd wordt is de uitwijking van de conus gegeven door :

$$x(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad (5.2)$$

waarin A de amplitude en f_1 de frekwentie van de luidspreker. De snelheid van de conus is hiervan het afgeleide signaal naar de tijd.

$$v(t) = dx(t)/dt = -2\pi f_1 A \sin(2\pi f_1 t) \quad (5.3)$$

Het verband tussen frekwentie en snelheid wordt gegeven door $\Delta f = 2v/\lambda$, dus

$$\Delta f = -4\pi f_1 A / \lambda \sin(2\pi f_1 t) \quad (5.4)$$

Na menging van dit gereflecteerde signaal met de lokale oscillator (RF-laser) heeft het beatsignaal de volgende vorm.

$$y(t) = R \cos 2\pi (f_b + \Delta f) t \quad (5.5)$$

waarin R de amplitude is van het gereflecteerde signaal (na heterodyne mixing) en f_b de beatfrequentie. Met een FM demodulator kan deze frequentieverschuiving hoorbaar worden gemaakt.

Er is een experiment gedaan op de meteotoren (afstand 235 meter). Op de konus van een luidspreker is een kleine reflector geplaatst. De trillingsfrequentie van de luidspreker is waargenomen.

5.3 Frequentie-analyse van de gemoduleerde puls

Een grondige signaalverwerking in de toekomst vereist een betere studie van de eigenschappen van de te verwachten signalen. In deze paragraaf wordt de laserpuls voorgesteld als een bloksignaal. Dit bloksignaal is de modulatie voor een draaggolf van 20 MHz. Er wordt gekeken naar de frequentie-eigenschappen van dit signaal.

Stel dat de puls gemodelleerd wordt als een eenmalig bloksignaal $p(t)$ met een pulsbreedte γ . De bijbehorende Fourier-getransformeerde van dit signaal zou zijn $P(f)$. Zie figuur 5.2a

$$p(t) = \mathcal{P}(t/\gamma) \quad \leftrightarrow \quad P(f) = \gamma \cdot \text{sinc}(f\gamma) \quad (5.6)$$

De beatfrequentie wordt gemoduleerd met deze "puls". In het tijddomein is dit een vermenigvuldiging van $p(t)$ met een cosinusfunctie $x(t)$.

$$x(t) = \cos w_b t \quad \leftrightarrow \quad X(f) = \frac{1}{2}[\delta(f-f_b) + \delta(f+f_b)] \quad (5.7)$$

In het frequentiedomein is het resultaat dan een convolutie van de Fourier-getransformeerden $P(f)$ en $X(f)$.

$$\begin{aligned}
 G(f) &= P(f) * X(f) = \\
 &\int P(l) \cdot X(f-l) dl = \\
 &\int \gamma \cdot \text{sinc}(l\gamma) \cdot k \cdot \{\delta(f-l-f_b) + \delta(f-l+f_b)\} \cdot dl = \\
 G(f) &= k \cdot \gamma \cdot \text{sinc}(\gamma(f-f_b)) + k \cdot \gamma \cdot \text{sinc}(\gamma(f+f_b)) \quad (5.8)
 \end{aligned}$$

Het frekwentiespektrum van de puls ziet er dan uit als in figuur 5.2b. Om een idee te hebben van de grootte van de gebruikte variabelen: $f_b = 20$ MHz, $\gamma \approx 200$ ns, de breedte van de sincfunctie is dus ongeveer 10 MHz. In theorie is de spektrale breedte van een tijdsbegrensde functie natuurlijk oneindig, maar in de praktijk zal de werkelijke TEA-puls een eindige bandbreedte hebben die zeker kleiner is dan 10 MHz.

Bij het bepalen van de snelheid van een object is men geïnteresseerd in de frekwentie f_b . In de praktijk kan deze meting van de frekwentie misschien bepaald worden met behulp van FM-detectie. Het probleem is dat binnen een tijdsduur van ongeveer 1 μ sec (dit is inclusief de staart van de puls, de piek in het signaal duurt 200 ns) maar ongeveer 20 oscillaties beschikbaar zijn om een FM ontvanger te "locken".

Met behulp van de computer is het mogelijk een nauwkeuriger analyse te maken van het signaal, zij het veel trager. Bij deze digitale verwerking moet het signaal bemonsterd worden. Het is daarom belangrijk dat bepaald wordt wat het effect is van bemonstering van een signaal met een spectrum als in figuur 5.2b.

5.4 Bemonstering van de gemoduleerde puls

Het frekwentiespektrum van een bemonsterd signaal kan bepaald worden door de berekening van de convolutie van het Fourier-spectrum van dit signaal met de Fourier-getransformeerde van de bemonsteringsfunctie. De bemonsteringsfunctie is de zogenaamde hekfunctie $h(t)$ en heeft dezelfde verschijningsvorm in het frekwentiedomein.

$$h(t) = \sum \delta(t - kT_s) \quad \leftrightarrow \quad H(f) = f_s \cdot \sum \delta(f - nf_s) \quad (5.9)$$

Hierin is f_s ($= 1/T_s$) de bemonsteringsfrequentie.

De functie $G(f)$ is de te bemonsteren functie:

$$G(f) = \frac{1}{2} \gamma \cdot \text{sinc}(\gamma(f-f_b)) + \frac{1}{2} \gamma \cdot \text{sinc}(\gamma(f+f_b))$$

Het frekwentiespektrum van het bemonsterde signaal wordt nu gegeven door de convolutie van $G(f)$ en $H(f)$.

$$\begin{aligned} S(f) &= G(f) * H(f) \\ &= \int G(\lambda) \cdot f_s \cdot \sum \delta(f-\lambda-nf_s) d\lambda \\ S(f) &= f_s \cdot \sum G(f-nf_s) \end{aligned} \quad (5.10)$$

Het spektrum van $S(f)$ is weergegeven in figuur 5.3. Het is duidelijk dat dit spektrum een ideaalbeeld geeft van het signaal. Ten eerste komt dit doordat er oneindig veel samples genomen zijn en ten tweede doordat de bemonsteringsfrequentie erg hoog is ($\gg f_b$). Dit zijn twee beperkingen in de praktijk. Wat zijn hiervan de invloeden?

Omdat er een eindig aantal samples genomen wordt betekent dit dat er een tijdvenster NT_s (N is het aantal samples) is waarin het signaal bekeken wordt. Buiten dit venster wordt het signaal periodiek verondersteld. Omdat het periodiek is is het opgebouwd uit discrete frekwentiecomponenten met als resolutie $\Delta f = 1/NT_s$.

Omdat de hoogste frekwentie die in het signaal voorkomt ongeveer 25 MHz is, is men verplicht volgens het bemonsteringstheorema met meer dan 50 MHz te bemonsteren voor een volledige rekonstruktiemogelijkheid van het signaal. Het is met de bemonsteringsapparatuur mogelijk met 60 MHz te bemonsteren, maar een ingebouwd analoog filter heeft slechts een bandbreedte van 20 MHz. Het is in theorie echter interessant om te kijken wat er gebeurt bij "ondersamplen". Wat gebeurt er als de bemonsteringsfrequentie bijvoorbeeld maar 20 MHz is?

Uit vergelijking (5.10) blijkt dat het Fourier-spektrum van de gemoduleerde puls $G(f)$ na bemonsteren een periodieke funktie wordt in het

frekwentiedomein met periode f_s . Door f_s gunstig te kiezen kan het spektrum $G(f)$ naar een lager frekwentiegebied getransformeerd worden (zie figuur 5.4). Dit is vergelijkbaar met het "naar beneden mixen" van een radiosignaal in de telecommunicatie. Hier gebeurt deze heterodyne mixing dan niet met een sinusvormig signaal maar met de bemonsteringsfunctie. Het resultaat is nu een bemonsterd signaal met alle gewenste informatie, maar nu in een lager frekwentiegebied. Dit geldt echter alleen wanneer a) de signaalbandbreedte beperkt is zodat geen aliasing optreedt en b) de hele signaalbandbreedte wordt bemonsterd, d.w.z. het signaal mag niet analoog gefilterd worden voordat het wordt gesampled.

Overigens kan deze operatie ook niet erg goed gebeuren met de huidige bemonsteringsapparatuur, omdat het inputsignaal ook nu eerst gefilterd wordt. In de toekomst echter kan deze manier van signaalverwerking, zeker met een hogere beatfrekwentie, een interessante optie zijn.

5.5 Computerprogramma voor besturing bemonsteringsapparatuur

De 390 AD waveformanalyser van Tektronix is de analoog-digitaal omzetter (digitizer), die gebruikt wordt in de opstelling om de door de detector geregistreerde reflecties vast te leggen. De digitizer heeft twee inputkanalen, een resolutie van 10 bits, een maximale bemonsteringsfrekwentie van 60 MHz en een bandbreedte van 15 MHz (gemeten is 20 MHz). Verder is een heel scala van trigger- en cursorfuncties beschikbaar (ref. [15]). De digitizer is volledig programmeerbaar via een IEEE bus en kan dus bestuurd worden door een IBM-PC. Voor de communicatie van de PC met de IEEE-bus wordt gebruik gemaakt van een kaart van National Instruments. Hiervoor is een programma geschreven in Turbo Pascal 4.0. Voor het ontwikkelen van dit programma is gebruik gemaakt van ref. [15] tot en met ref. [17].

In het hoofdprogramma is als unit meegenomen het programma TPDECL.PAS. Hierin zijn deklaraties opgenomen van variabelen en procedures die gebruikt kunnen worden in het hoofdprogramma voor communicatie op de IEEE-

bus. De implementatie van deze procedures zijn in assembler geschreven en op hun beurt gelinkt in TPDECL.PAS onder de naam TPIB.COM.

Het hoofdprogramma voert de volgende functies uit:

- Bediening van de digitizer via het keyboard. Functies van de digitizer die instelbaar zijn, zoals bijvoorbeeld de inputrange en de samplefrequentie, kunnen via het keyboard worden ingevoerd. Dit is met name handig wanneer er veel ingesteld moet worden voor bepaalde toepassingen. Zoals het registreren van pulsen.
- Het uitlezen van de digitizer setting en data. De digitizer heeft een geheugen van 8k bytes voor het opnemen van 4k samples. Deze kunnen via de IEEE bus worden uitgelezen en op een floppy-disk worden opgeslagen. Belangrijke informatie bij deze data is de setting van de digitizer op het moment van registreren. Bij het opslaan van een datafile wordt dan ook een file aangemaakt met de settinggegevens. Naar keuze kan ook commentaar bij de meting in een derde file worden opgeslagen.
- Het sturen van een setting en een datafile naar de digitizer. Dit is de omgekeerde bewerking van optie 2. Op floppy opgeslagen data kan naar de digitizer worden gestuurd en tevens met behulp van de setting-file de digitizer in de juiste instelling worden gezet.
- Fourier-analyse. Deze optie is nog niet klaar omdat er nog geen Fourier-kaart beschikbaar is. Dit probleem zou voorlopig softwarematig opgelost kunnen worden.

6 LITERATUURONDERZOEK

Uit literatuuronderzoek is gebleken dat het aantal plaatsen ter wereld met vergelijkbare opstellingen als de onze beperkt is. Een opsomming volgt hierna:

Wave Propagation Laboratory, Boulder, Colorado.

NOAA, "pulsed doppler lidar for atmospheric studies."

(ref. [2]).

Parameters van de opstelling:

Transmitter : Hybrid TEA, 100 mJ pulses, pulswidth $2\mu\text{s}$,
prf 10 Hz.

Detector : HgCdTe detector, 77 K.

Receiver : off axis telescopes, 28 cm diameter.

Dataprocessing : Synchrone detectie met IF = 20 Mhz.
Gedemoduleerde signaal samplen met 10 Mhz.
Hierna envelope detection en Fourier-
analyse. Pulse averaging. Bandbreedte
meetsysteem 10 Mhz.

Met dit meetsysteem worden vooral metingen aan de atmosfeer gedaan.
Vertikale extinctieprofielen en backscatter.

Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.

"A tunable coherent CO₂ lidar for measurements of atmospheric aerosol
backscatter and attenuation"

(ref.[4]).

parameters van de opstelling.

Transmitter : TEA CO₂ laser, 1-3 J pulses, 1-2 μs pulswidth,
prf 0,1 Hz. diameter 15 cm (after expansion).

Receiver : Newtonian telescope, 15 cm diameter.

Detector : HgCdTe, 77 K.

Signalprocessing : beatfrekwentie 30 MHz, bandbreedte 10 Mhz

Defence Research Establishment Valcartier, Quebec, Canada.

"TEA CO₂ laser radar with heterodyne detection".

(ref. [5] en [6]).

In dit instituut zijn twee opstellingen ontwikkeld. De spiegelsturing is gekoppeld aan de waarneming (tweede opstelling). Opvallend is dat er niets gedaan (beschreven) wordt over meting aan Doppler-verschuiving.

Parameters van de eerste opstelling:

Transmitter : hybrid TEA CO₂ laser, 380 mJ pulses, 500 ns
pulsbreedte, prf 1 Hz.

Receiver : zend-/ontvangdiameters 10 cm, off axis.

Detector : HgCdTe detector, 77K.

Signaalverw. : Afstandmeting mbv kristalklok. Ontvanger
geoptimaliseerd voor signalen zonder Doppler-
verschuiving (matched filter). Beatfrekwentie
12,5 MHz.

Stabilisatie : Op beatfrekwentie met frekwentiediscriminator.

Maximum gerapporteerde afstand is 32 km onder zeer gunstige
atmosferische omstandigheden.

Parameters van de tweede opstelling:

Transmitter : hybrid CW/TEA laser, 80 mJ pulses, prf 100 Hz.

Receiver, Detector en stabilisatie is hetzelfde als in de eerste
opstelling. De pulse-pulse stabiliteit is < 50 kHz.

Maximum gerapporteerde afstand is 24 km.

DFVLR, Aerospace Research Establishment, Wessling, Germany.

"Pulsed CO₂ laser heterodyne radar for simultaneous measurement of range
and velocity."

(ref. [7]).

Parameters van de opstelling:

Transmitter : hybrid CO₂ laser, P = 30 kW, pulsduur 400 ns.
single puls system.

Receiver : Twee telescopes voor zenden en ontvangen van
onbekende diameter.

Detector : HgCdTe.

De lasers worden niet gestabiliseerd maar zijn "free running in a passively stabilized mode". Er wordt echter geen afwijking in de frekwentie waargenomen tijdens de looptijd van een puls (< 15 ms).

Fujitsu System Integration Laboratories, Kawasaki, Japan.

"Sensitivity of coherent range-resolved differential absorption lidar".
(ref. [8]).

Parameters van de opstelling:

Transmitter : hybrid TEA laser, 140 mJ pulses, pulsbreedte
250 ns, prf 5 Hz, CW 1W.

Receiver : off axis telescopes, 25 cm.

Dataverw. : 10 MHz beatfrekwentie, omhullende detectie,
resultaat wordt gesampled met 10 MHz en
opgeslagen in computer. Signalaveraging.

Maximum range 5 km.

CONCLUSIE

Op niveau 10 in "de toren" van het FEL-TNO is een experimentele opstelling gerealiseerd waarmee afstandmeting kan worden gedaan. Een gepulste CO₂ TEA-laser vuurt pulsen af in de richting van een diffuus reflecterend doel; de ontvangoptiek neemt de reflectie waar. Er is tijdens de bouw van de opstelling inzicht gekregen in enkele belangrijke aspecten van coherente laser afstandsmetersystemen. Ook is belangrijke ervaring opgedaan met het uitlijnen van dergelijke systemen.

De lasers in de opstelling zijn zodanig gestabiliseerd dat hun verschil-frekwentie 20 MHz bedraagt. De afwijking hiervan is maximaal 50 kHz op de lange termijn (20 tot 30 minuten). De regeling is gebaseerd op continue meting van de verschilfrekwentie. Bij afwijking van de gewenste frekwentie wordt een van de lasers bijgesteld. Dit wordt gedaan door een piezo-element, waarop een van de eindspiegels is bevestigd. Er is ook bereikt dat de invloed van het pulsen op deze verschilfrekwentie uitgeschakeld is. De puls veroorzaakt namelijk in de laser de zogenaamde "chirp". Dit is een verschuiving in de frekwentie van de laser als gevolg van een tijdelijk veranderde brekingsindex in de lasercavity. Deze uitschakeling is gedaan door de regelkring, tijdens en na het afvuren, gedurende een periode van 100 ms uit te schakelen.

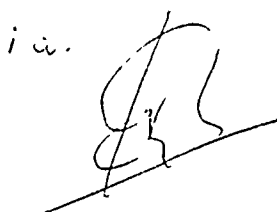
Tot slot is een begin gemaakt met de signaalverwerking. Het meetsignaal bestaat in feite uit een modulatie van de amplitude en van de frekwentie van het beatsignaal. Met een AM-demodulator is het mogelijk de omhullende vorm van het signaal te bepalen. Het is nog niet mogelijk met een FM-demodulator de frekwentie van de draaggolf binnen een puls analoog te bepalen. Dit is een moeilijke opgave omdat binnen de tijdsduur van een puls slechts 20 oscillaties (of minder) waarneembaar zijn. Het is daarom misschien niet mogelijk de bepaling van de frekwentie op deze wijze uit te voeren. Er is alvast een begin gemaakt met het bestuderen

van de frekventie-eigenschappen van de puls. Dit met het oog op toekomstige verwerking van de metingen met de computer.



Drs. C.W. Lamberts

(groepsleider)



J. Bloem

(auteur)

REFERENTIES

- [1] W.W.M.Knippers, "Een gepulste hybride CO₂ laser", FEL-TNO 1988-93
- [2] R.M. Hardesty, "Measurement of range-resolved water-vapor concentration by coherent CO₂ differential absorption lidar", Wave propagation laboratory, Boulder, Colorado, March 1984. rapp.no 85-7252
- [3] K.F. Hulme, "CO₂ laser heterodyne rangefinders, velocimeters and radars", Royal Signals and Radar Establishment", Malvern, Worcestershire, England, Infrared Physics, vol 25, Feb 1985.
- [4] Robert T. Menzies. "A tunable coherent CO₂ lidar for measurements of atmospheric aerosol backscatter and attenuation", Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. Proc SPIE, vol 415, 1983.
- [5] J.M.Cruickshank, "Transversely excited atmospheric CO₂ laser radar with heterodyne detection", Defence Research Establishment Valcartier, Quebec, Canada, Appl. Optics, vol. 18, feb 1979.
- [6] J.M.Cruickshank, "Field measurements with a coherent transversely excited atmospheric CO₂ laser radar", Defence Research Establishment Valcartier, Quebec, Canada, Proc. of SPIE, vol 415, april 1983.
- [7] F. Malota, "Pulsed CO₂ laser heterodyne radar for simultaneous measurements of range and velocity". DFVLR, Aerospace Research Establishment, Wessling, Germany. Appl.Optics, oct. 1984.
- [8] Takayasu Fukuda, "Sensitivity of coherent range-resolved differential absorption lidar", Fujitsu System Integration Laboratories, Kawasaki, Japan, Appl. Optics, vol. 23, juni 1984.

- [9] W.G. Driscoll, "Handbook of optics", Mc Graw-Hill book company, 1978. ISBN 0-07-047710-8.
- [10] D.E. Gray, Ph.D., "American Institute of Physics Handbook", Mc Graw-Hill book company, 1957.
- [11] G. de Leeuw, "Optische en infrarode eigenschappen van de maritieme atmosfeer", FEL-rapport 1987-76.
- [12] J.P.M. de Vreede, "Heterodyne detectie van laserstraling", FEL-rapport 1978-18.
- [13] F.A. Jenkins en H.E. White, "Fundamentals of Optics", Mc Graw-Hill book company, fourth edition, 1981.
- [14] D.L. Fried, "Optical heterodyne detection of an atmospherically distorted signal wave front", North American Aviation Science Center, California, Proc. of the IEEE, vol.55, 1967.
- [15] 390 AD programmable digitizer, Instuction manual, Tektronix
- [16] Manual Turbo Pascal 4.0.
- [17] IEEE-488 Intrumentation interface voor GPIB en PC. (with IBM pascal language interface). National Instruments.

FIGUREN

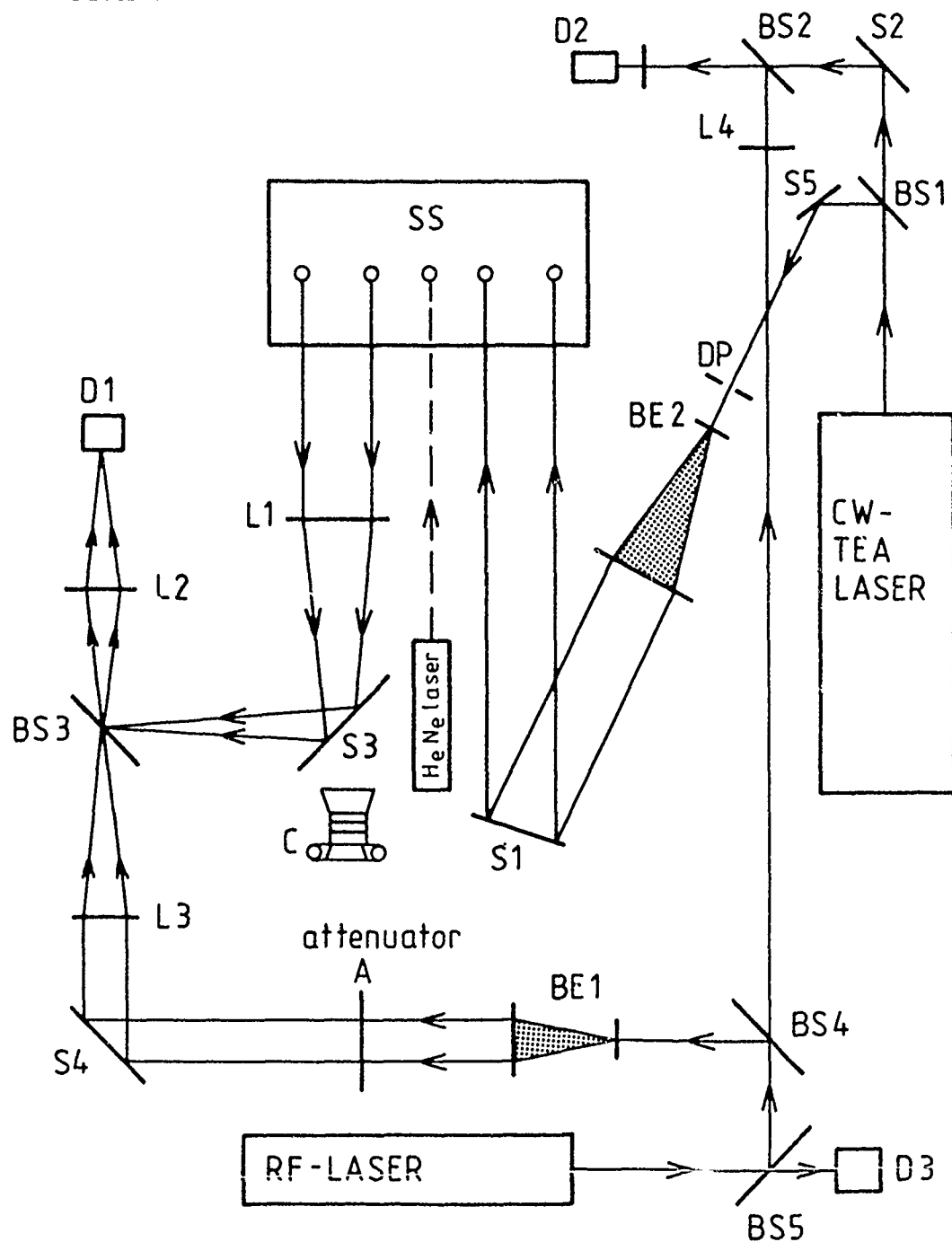


Fig. 2.1: De laser afstandsmeter opstelling op niveau 10.

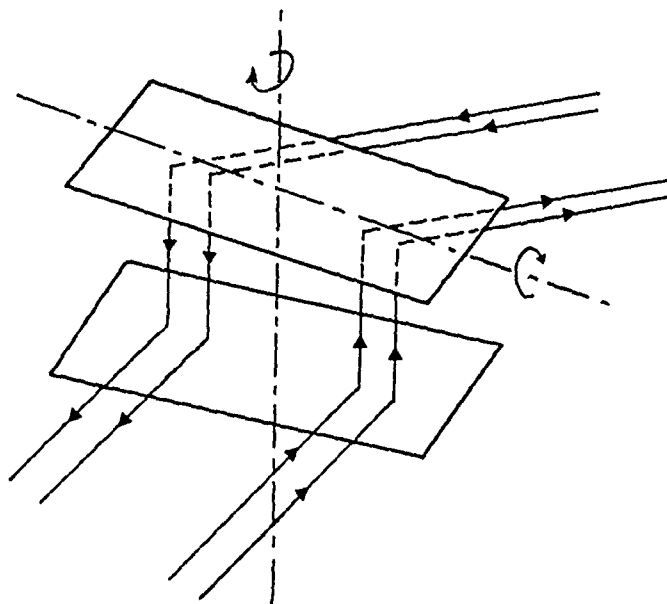


Fig. 2.2: Principe van de scan-spiegel

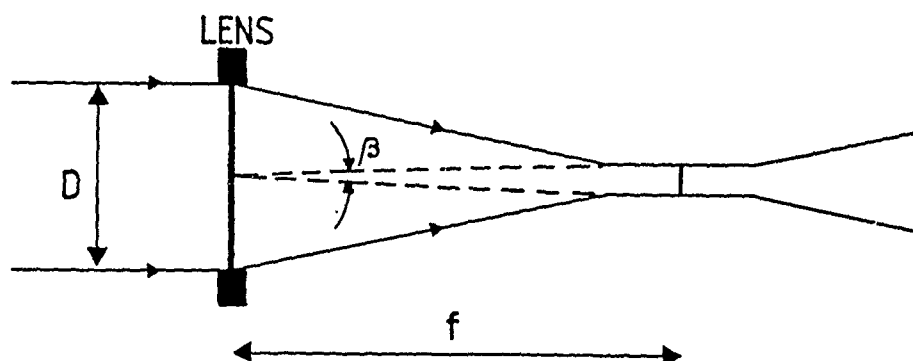


Fig. 2.3: De diffraktie en sferische abberatie van een lens geven aanleiding tot een eindige focusdiameter.

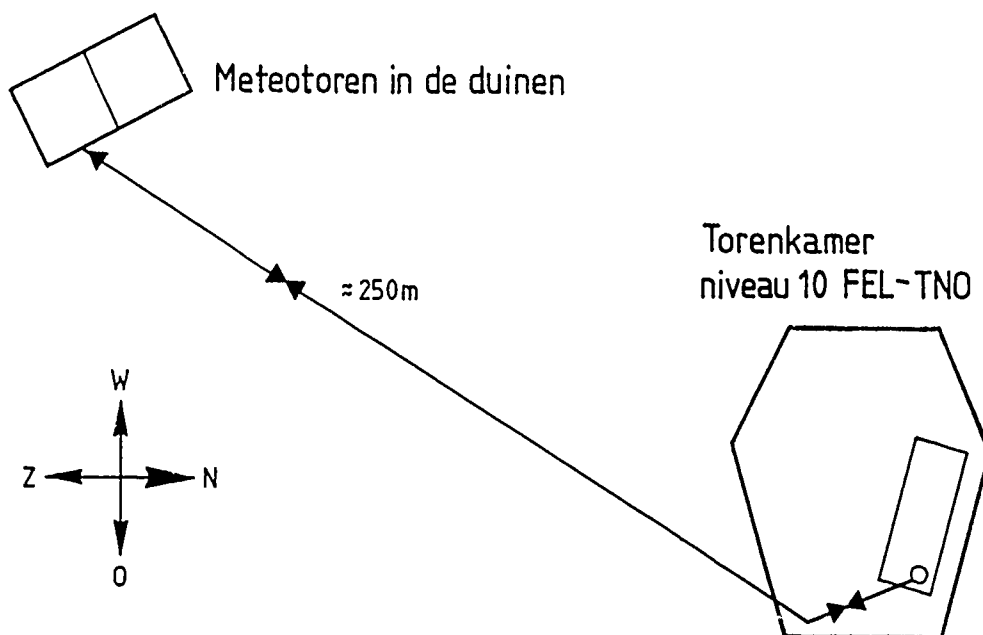


Fig. 2.4: Situatieschets van de laser afstandsmeteropstelling op niveau 10 ten opzichte van de meteotoren op 235 m afstand.

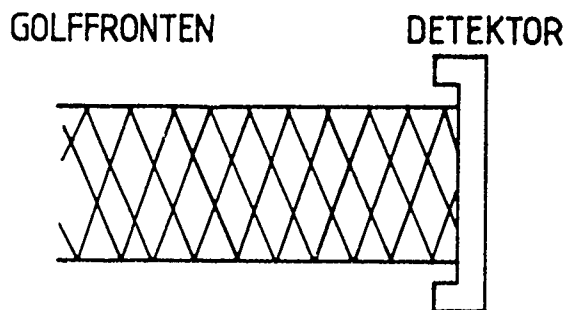


Fig. 3.1a: Fout, hier vindt door interferentie uitdoving plaats op het detectoroppervlak omdat de golffronten niet parallel binnenkomen.

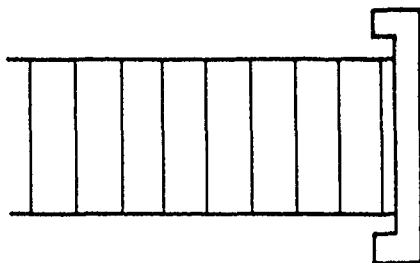


Fig. 3.1b: Ideaal, vlakke golffronten van zowel de lokale oscillator als de verstrooide bundel zijn hier parallel en versterken elkaar.

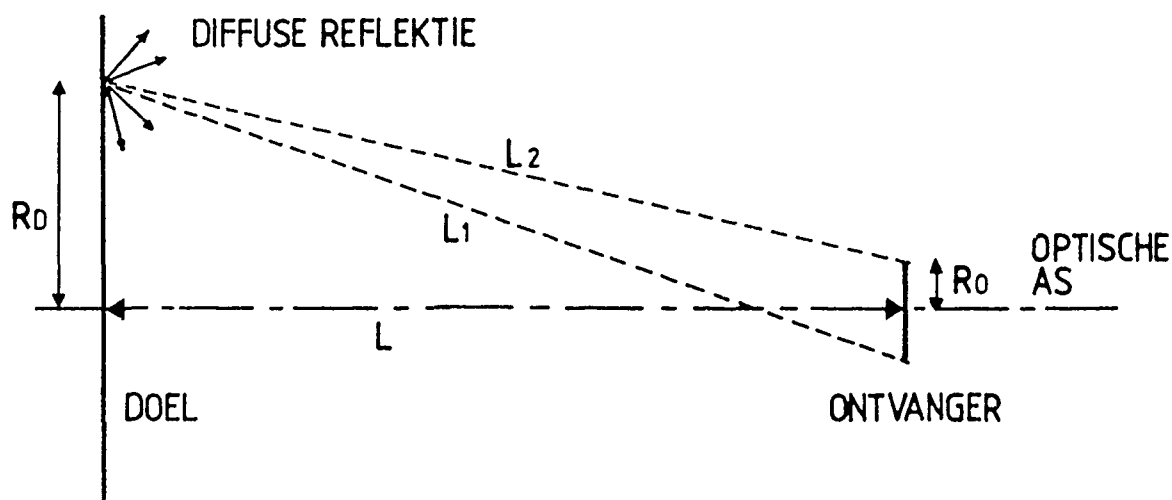


Fig. 3.2: Weglengte verschil ter plaatse van de ontvanger als gevolg van diffuse reflectie van de rand van de verlichte spot.

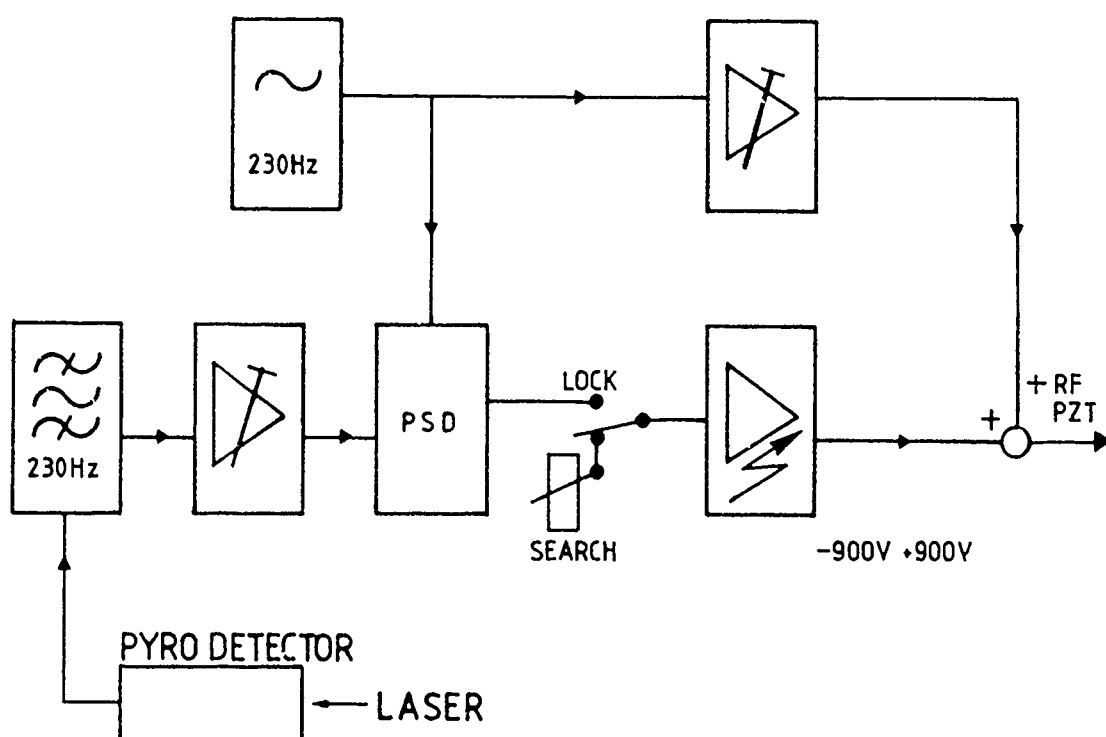


Fig. 4.1: Stabilisatieregeling voor de frekwentie van de RF-laser gebaseerd op de lock-in techniek.

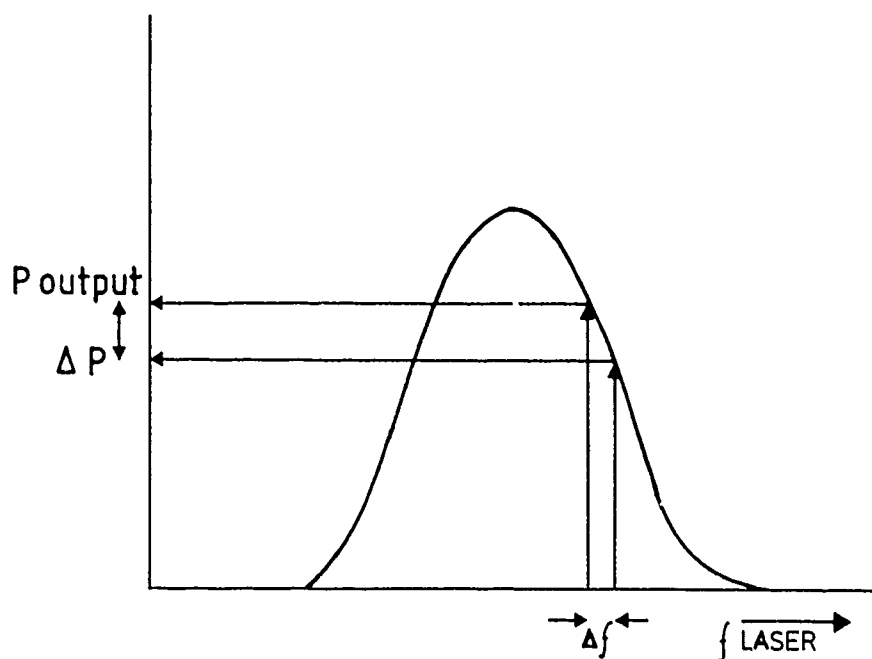


Fig. 4.2: Een lengteverandering van de cavity heeft een invloed op de resonantiefrequentie en ook op het outputvermogen.

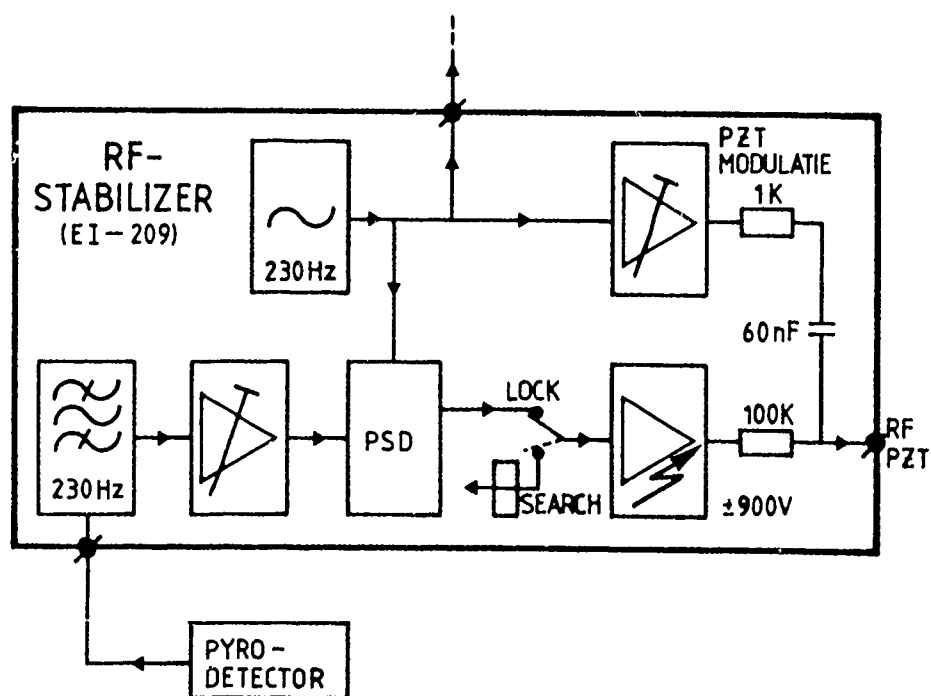


Fig. 4.3a: Blokschema elektronika van de stabilisatieregelingen: regeling RF-laser.

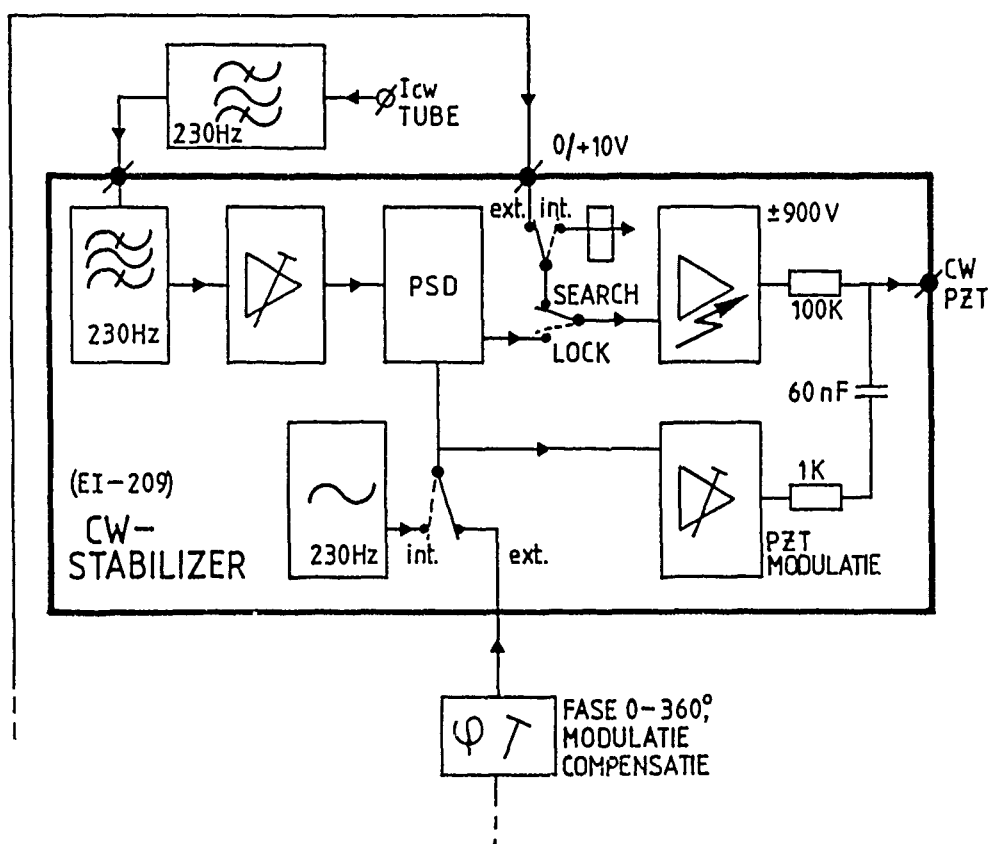


Fig. 4.3b: Blokschema elektronika van de stabilisatieregelingen: regeling CW-laser.

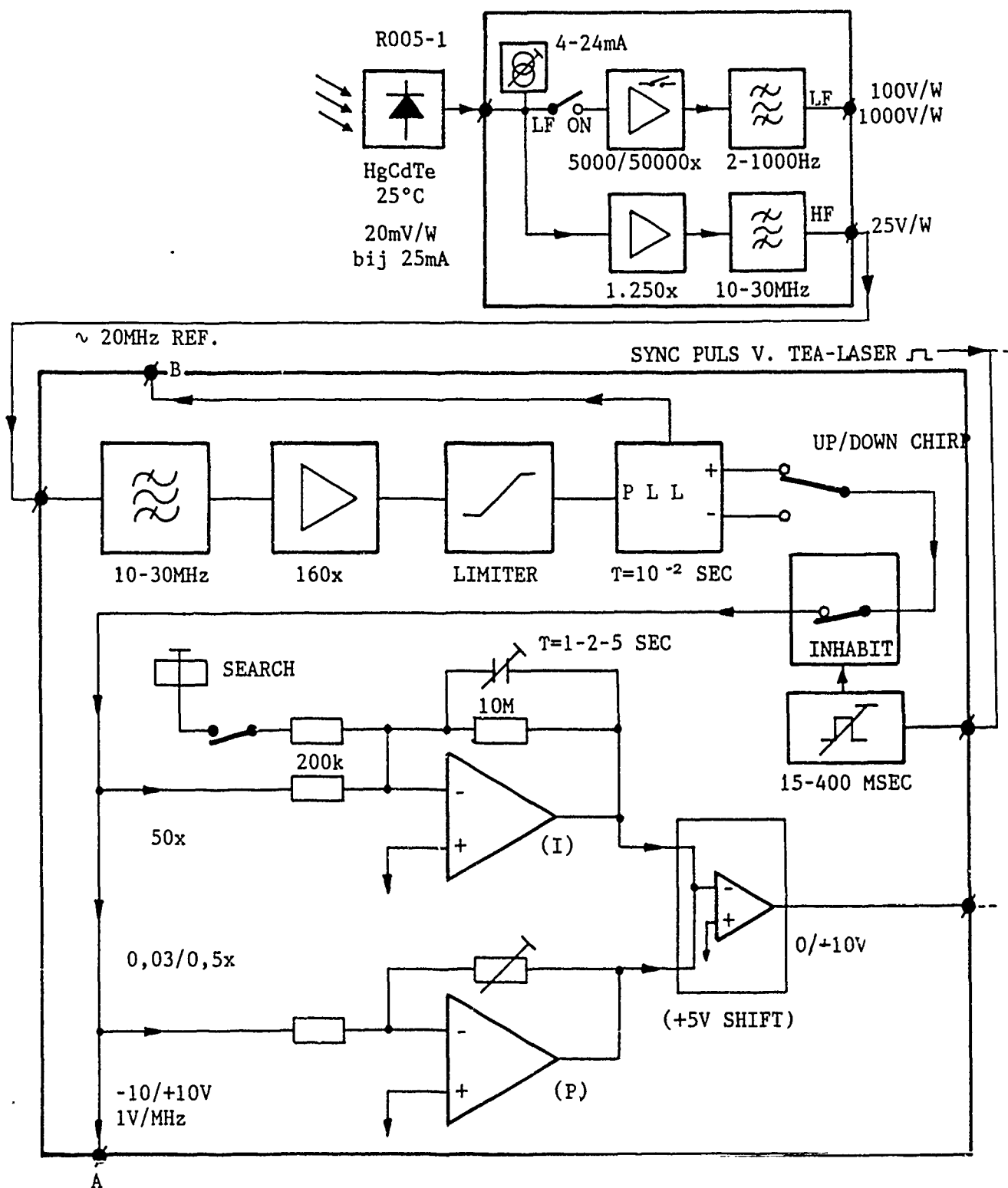


Fig. 4.3c: Blokschema elektronika van de stabilisatieregelingen:
regeling beatfrequentie

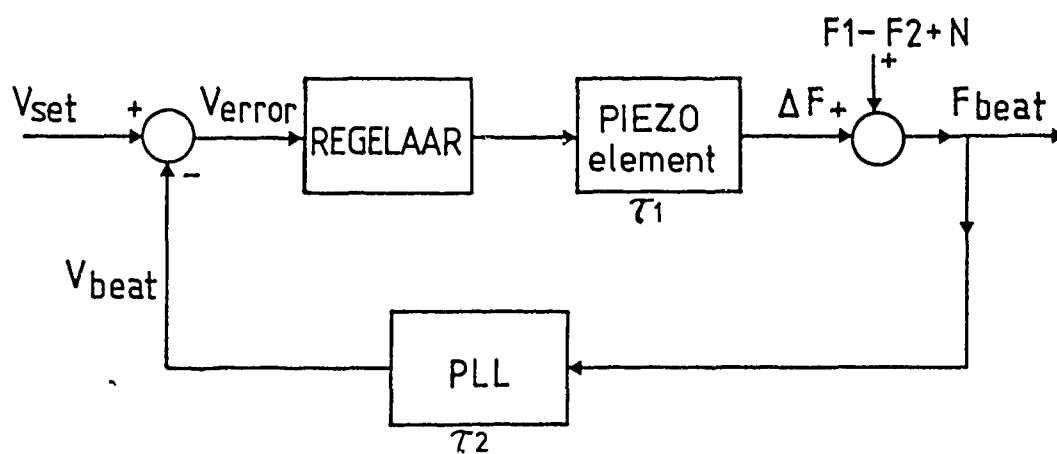


Fig. 4.4: Model van de stabilisatieregeling, gebaseerd op meting van de beatfrequentie.

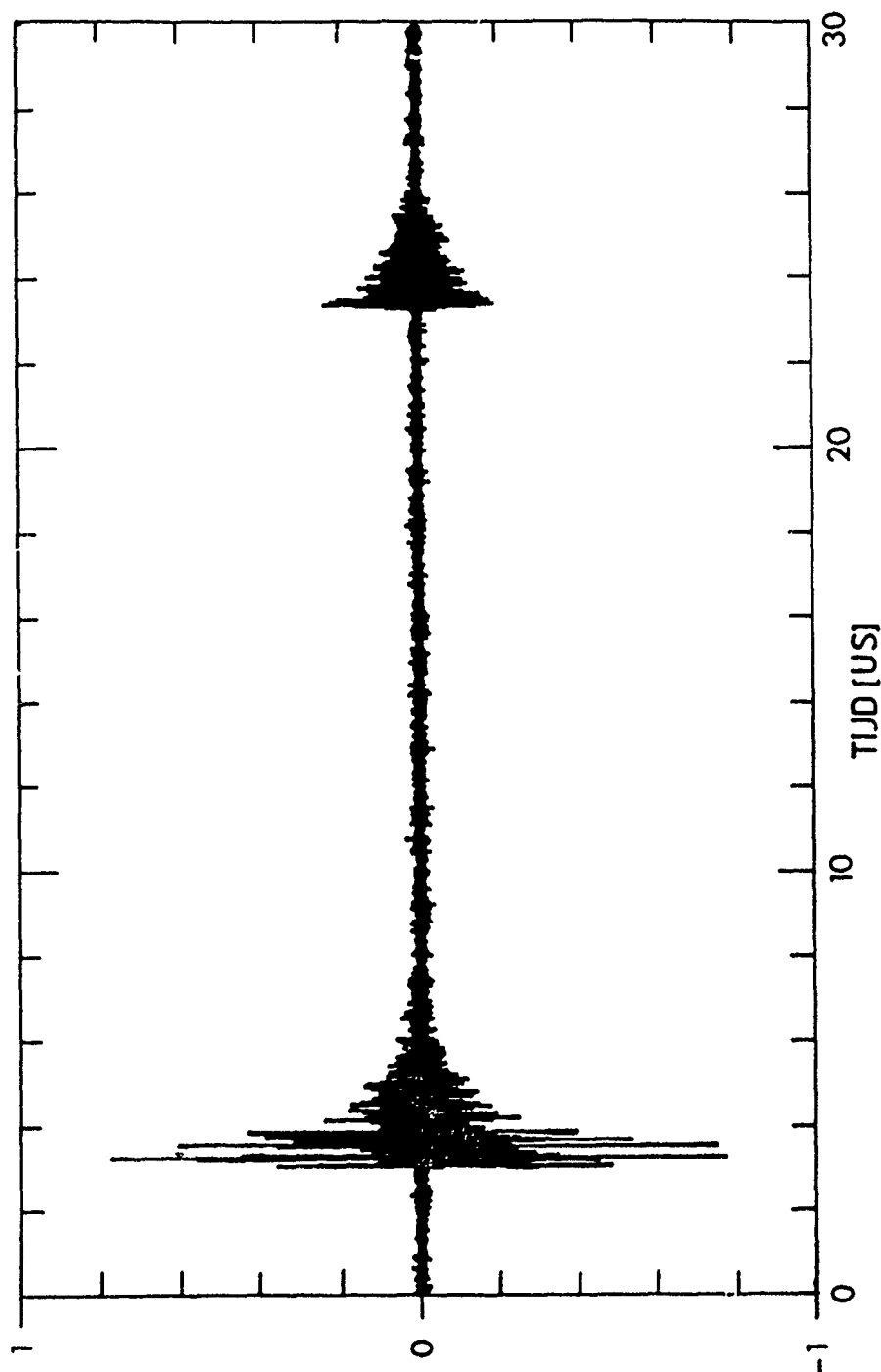


Fig. 5.1: Startpuls tijdens zenden en gereflecteerde puls van DNL op een afstand van 5 km.

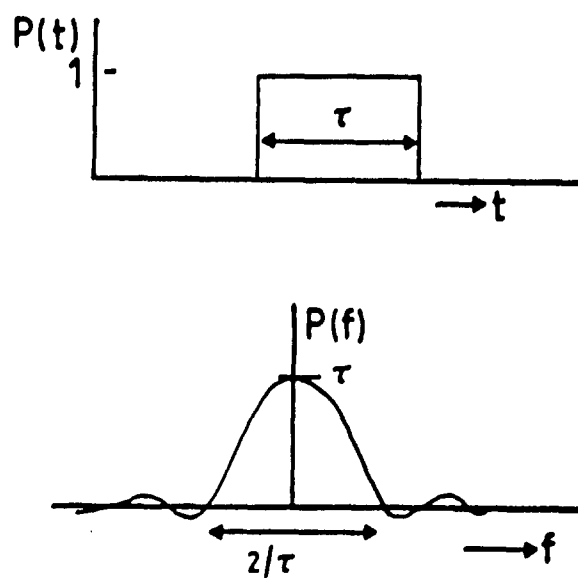


Fig. 5.2a: Puls (boven) en frekwentiespektrum van de puls (onder).

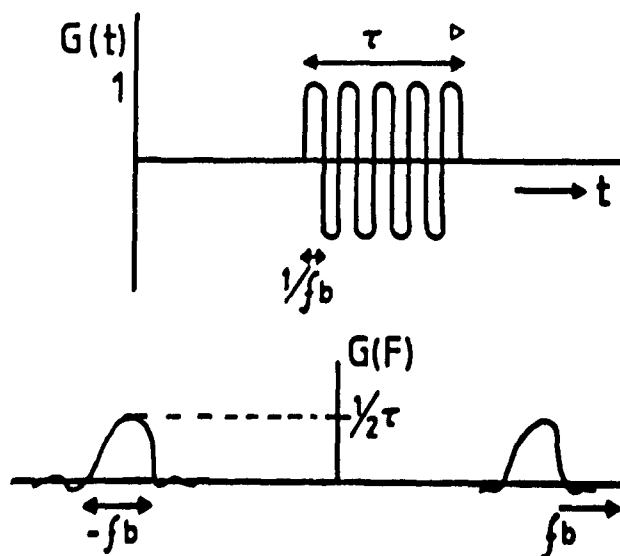


Fig. 5.2b: Gemoduleerde puls (boven) en bijbehorend spektrum (onder).

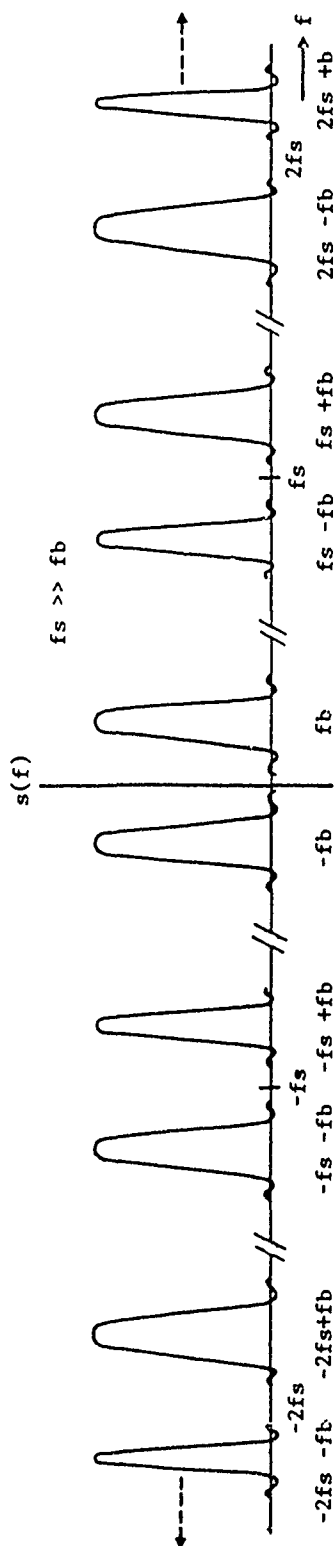


Fig. 5.3: Spektrum van bemonsterde gemoduleerde puls waarbij $f_s \gg f_b$.

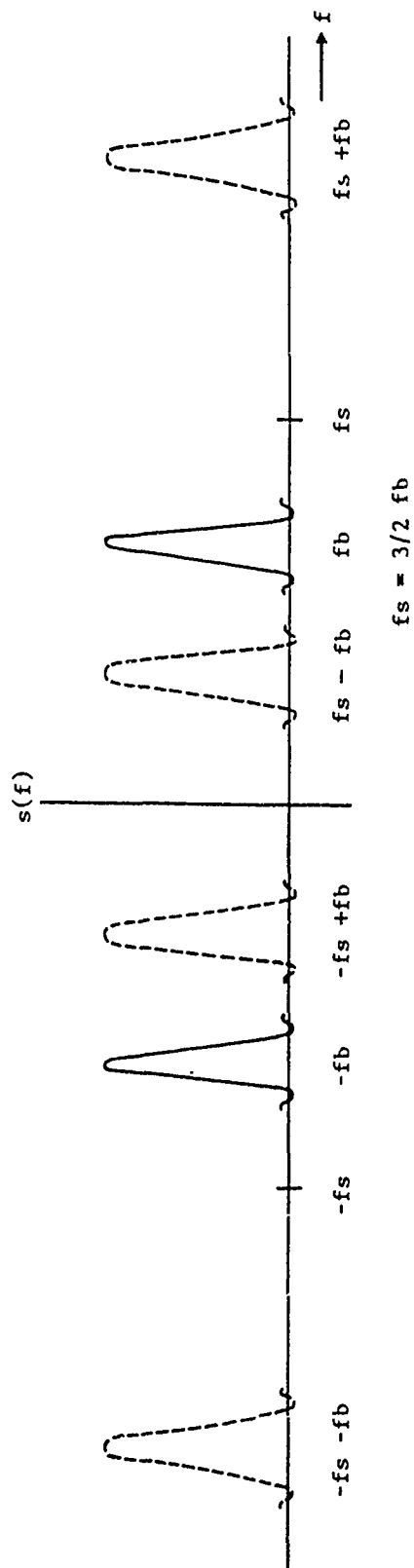


Fig. 5.4: Spektrum van bemonsterde gemoduleerde puls waarbij $f_s = 3/2 \cdot f_b$

BE1 Ge/Ge lenzen, AR gecoat, vergroting faktor 10, 4 mm. → 25 mm.

BE2 Ge/Ge lenzen, AR gecoat, vergroting faktor 10, 5 mm. → 50 mm.

SS Scanspiegel, twee met aluminium opgedampte glazen platen.

BS1 99% R achterzijde AR gecoat

BS2 50% R ,, ,, ,,

BS3 908 R ,, ,, ,,

BS4 75% R ,, ,, ,,

BS5 958 R ,, ,, ,,

C CCD camera

L1 $f = 380$ mm, ZnSe, meniscus, $\Phi = 50$ mm, AR gecoat.

L2 $f = 38$ mm, ZnSe, meniscus, $\Phi = 28$ mm, AR gecoat.

L3 $f = 100$ mm, Ge, meniscus, $\Phi = 38$ mm, AR gecoat.

S1 Aluminium, fijn instelbaar, $\Phi \approx 70$ mm.

S2 Opgedampt aluminium, $\Phi = 25$ mm.

S3 Gepolijst aluminium, $\Phi = 50$ mm.

S4 Opgedampt aluminium, $\Phi = 50$ mm, fijn instelbaar

D1 HgCdTe detector, N₂ gekoeld, LF 2 V/μW. (7 - 700 Hz)

HF 0,6 V/ μ W (10 - 43 MHz)

D2 Roomtemperature HgCdTe detector, LF 1 mV/ μ W (2 - 1000Hz)

HF 25 mV/mW (10 - 30 MHz)

D3 pyrodetector 130 V/W.

UNCLASSIFIED
REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD89-4464	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER A84KL121	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER FEL-90-A125
--	---	--

4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 2137	5. CONTRACT NUMBER A84KL121	6. REPORT DATE AUGUST 1990
---------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

7. NUMBER OF PAGES 56 (INCL. TITLEPAGE + APPENDIX; EXCL. RDP + DISTRIBUTION LIST)	8. NUMBER OF REFERENCES 17	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED INTERIM REPORT
---	-----------------------------------	--

10. TITLE AND SUBTITLE
MEETOPSTELLING VAN EEN GEPULSTE CO₂ LASER AFSTANDSMETER MET HETERODYNE DETECTIE
(EXPERIMENTAL SET-UP FOR A PULSED CO₂ LASER RANGEFINDER WITH HETERODYNE DETECTION)

11. AUTHOR(S)
J. BLOEM

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)
TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY
PO BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE, THE NETHERLANDS

13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S)
-

14. SUPPLEMENTARY NOTES
IN DUTCH, ENGLISH SUMMARY

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS)<gebruik niet meer dan 10 regels>

THIS REPORT DESCRIBES THE REALIZATION OF A PULSED CO₂ LASER RANGEFINDER WITH HETERODYNE DETECTION. THE REALIZED SYSTEM CAN BE USED TO MEASURE THE RANGE TO (AND IN THE FUTURE ALSO THE SPEED OF) DIFFUSE REFLECTING TARGETS. THE RANGEFINDER USES A HYBRID CW-TEA LASER AS EMITTER AND AN RF LASER AS LOCAL OSCILLATOR. THE STABILIZATION OF THESE LASERS IS DESCRIBED IN DETAIL. THE FREQUENCY OFFSET BETWEEN THE TRANSMITTED LASER PULSE AND THE LOCAL OSCILLATOR LASER IS LOCKED AT 20 MHZ. THE LONG TERM (20 TO 30 MINUTES) VARIATION IN THIS OFFSET FREQUENCY IS LIMITED TO 50 KHZ. THE EFFECTS OF PULSING ON THIS STABILIZATION ARE ELIMINATED. A START HAS BEEN MADE WITH THE SIGNAL PROCESSING. A ROUGH MODEL OF THE LASER PULSE AND ITS FREQUENCY CHARACTERISTICS IS DEVELOPED. AN AM-DEMODULATOR IS REALIZED TO DETERMINE THE ENVELOPE OF THE REFLECTED PULSES.

16. DESCRIPTORS LASER RADAR (LIDAR) LASER RANGING CO ₂ LASERS FREQUENCY STABILIZATION COHERENCE	IDENTIFIERS
---	-------------

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) UNCLASSIFIED	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) UNCLASSIFIED	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) UNCLASSIFIED
---	---	---

18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT UNLIMITED	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) UNCLASSIFIED
--	---

UNCLASSIFIED